



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

AUTONOOMNE PARKIMISROBOT SILEDAL PÕRANDAGA PARKLATELE

AUTONOMOUS PARKING ROBOT FOR CAR PARKS WITH EVEN FLOOR

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Karolin Kelpman

Üliõpilaskood 183707MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, teadur

Tallinn 2020

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“25” mai 2020

Autor: Karolin Kelpman

(allkirjastatud digitaalselt)

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“25” mai 2020

Juhendaja: Toivo Tähemaa

(allkirjastatud digitaalselt)

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Karolin Kelpman (sünnikuupäev: 22.05.1996)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Autonoomne parkimisrobot sileda põrandaga parkimisaladele,

mille juhendaja on Toivo Tähemaa

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

(allkirjastatud digitaalselt)

25.05.2020

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Karolin Kelpman, 183707MATM
Õppekava, peeriala: MATM02/18 - Tootearendus ja tootmistehnika, 1- tootearendus
Juhendaja(d): teadur Toivo Tähemaa, 620 3252
Konsultant: Aleksandr Mahhankov, projektijuht
AKM Engineering OÜ, 53404266, aleksandr@akm-engineering.ee

Lõputöö teema:

Autonoomne parkimisrobot sileda põrandaga parklatele
Autonomous parking robot for car parks with even floor

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Roboti põhimõtteline mehaanikakontseptsioon
2. Oluliste komponentide valik
3. Mehaanika osaline projekteerimine CADis

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande püstitus. Olemasolevate lahenduste analüüs.	01.03.2020
2.	Seadme ehituse fikseerimine.	15.03.2020
3.	Olulised arvutused, vajalike komponentide kindlaksmääramine ja nende valik.	29.03.2020
4.	Seadme mehaanika osaline projekteerimine. Elektri- ja juhtimissüsteemi kirjeldus.	10.05.2020
5.	Seadme ohutuse tagamine.	20.05.2020
6.	Lõputöö vormistamine.	24.05.2020

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "25" mai 2020 a

Üliõpilane: Karolin Kelpman (allkirjastatud digitaalselt) "25" mai 2020 a

Juhendaja: Toivo Tähemaa (allkirjastatud digitaalselt) "25" mai 2020 a

Konsultant: Aleksandr Mahhankov (allkirjastatud digitaalselt) "25" mai 2020 a

Programmijuht: ".....".....2020 a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu.....	8
SISSEJUHATUS	9
1. OLEMASOLEVAD LAHENDUSED	12
1.1 Kõrgemate osadega robotid.....	12
1.1.1 Eest ja tagant autole lähenevad robotid	13
1.1.2 Küljelt autole lähenevad robotid	14
1.2 Lapikud robotid.....	15
1.2.1 Auto platvormiga üles tõstvad robotid	15
1.2.2 Auto ratastest haaravad ja üles tõstvad robotid.....	17
1.3 Lahenduste võrdlus lähtuvalt ülesande tingimustest	19
2. ROBOTI PARAMETRITE JA KONTSEPTSIOONI TÄPSUSTAMINE	21
2.1 Roboti mõõtmed ja kere kontseptsioon	21
2.2 Roboti liikumine.....	23
2.3 Akud ja nende laadimine.....	24
2.4 Auto tõstmine.....	25
2.5 Käppade liigutamine rataste haaramiseks	25
3. OLULISED ARVUTUSED JA PEAMISTE KOMPONENTIDE VALIK	28
3.1 Mootorid ja aktuaatorid.....	28
3.1.1 Vedavate rataste mehhanism ja mootor	28
3.1.2 Mootor/aktuaator käppade mehhanismi liigutamiseks	31
3.1.3 Mootor/aktuaator rataste haaramiseks.....	31
3.2 Sensorid	35
3.2.1 Lidar.....	35
3.2.2 Magnetsensor	35
3.2.3 Kaugussensorid.....	36
3.3 Kontroller ja vajalikud moodulid.....	37
3.4 Aku ja laadimise lahendus.....	38
4. ROBOTI MEHAANIKAKONTSEPTSIOON.....	39
4.1 Roboti käppade mehhanismi disain.....	39
4.2 Roboti korpus.....	43
4.3 CAD mudel.....	48
5. ELEKTRILINE PLOKKSKEEM	49
6. ROBOTI JUHTIMISSÜSTEEMI JA VAJALIKE TÖÖTINGIMUSTE KIRJELDUS.....	50

6.1 Algoritm	50
6.2 Nõuded roboti tööalale.....	54
7. OHUTUSE ANALÜÜS	55
KOKKUVÕTE	56
SUMMARY.....	57
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	58
LISAD	61
Lisa 1 Disaineri loodud visuaalid parkimisrobotist.....	62
Lisa 2 Kollmorgen mootori AKM2G tehnilised andmed.....	64
Lisa 3 Neugart reduktori PLE060 tehnilised andmed	65
Lisa 4 Kollmorgen mootori IC44-050A3AC tehnilised andmed.....	68
Lisa 5 Linak silinderaktuaatori LA36 tehnilised andmed.....	70
GRAAFILINE OSA.....	73
Roboti käpa joonis	
Autonoomse parkimisroboti kandekonstruktsiooni joonis	

EESSÕNA

Lõputöö teema sõnastati vastavalt firma AKM Engineering OÜ ja nende kliendi soovidele ja vajadustele. Töö raames projekteeriti osaliselt robot, mida saab kasutada kliendi parklates autode viimiseks ühest punktist teise vastavalt algoritmile. Algandmed koguti sarnaseid lahendusi pakkuvate tootjate ametlikelt lehtedelt ja internetis kättesaadavatest uurimustest. Analüüsi põhimõtted ja valemid saadi teemakohastest õppematerjalidest.

Töö koostati teadur Toivo Tähemaa juhendamisel. Konsulteeris AKM Engineering projektijuht ja insener Aleksandr Mahhankov. Töö autor avaldab suurt tänu nimetatud isikutele ja teistele töö valmimisel toeks olnud inimestele.

Robot, AGV, parkimislahendused, parkla, automaatparkla, parkimisrobot, isejuhtiv parkimisplatvorm, magistritöö

Lühendite ja tähiste loetelu

AGM – pliiaku tüüp (ingl k *absorbent glass mat*)

AGV – automatiseeritud sõiduk (ingl k *automated/automatic guided vehicle*)

DDL – lineaarne mootoriga otse ühendatud ajam (ingl k *direct drive linear*)

DoD – tühjaks laadumise sügavus (ingl k *depth of discharge*)

FLA – pliiaku tüüp (ingl k *flooded lead acid*)

LGV – suur motoriseeritud sõiduk (ingl k *large goods vehicle*)

SISSEJUHATUS

Käesoleva töö eesmärgiks on firma AKM Engineering OÜ alt teha turuanalüüs, välja töötada mehaanikakontseptsioon ning põgusalt kirjeldada elektriosa ja juhtimissüsteemi (mille põhjalikuma projekteerimisega tegelevad teised tiimiliikmed) autode transportimiseks mõeldud automatiseeritud robotile ehk AGV-le, mis oleks kasutatav kliendi parkimismajades ja vastaks kliendi poolt paika pandud spetsifikatsioonidele ning arvestaks mõistlikkuse ja realiseeritavuse piires ka kliendi teiste soovidega. Töö raames vaadeldi olemasolevaid lahendusi, valiti sobiv tööpõhimõte ja olulised funktsionaalsust võimaldavad komponendid, pandi paika roboti juhtimise loogika, tehti vajalikud analüüsid ning projekteeriti AGV osaline mudel SolidWorks-is.

Käsitlev teema on tulevikuühiskonda silmas pidades igati aktuaalne, sest suurlinnade rahvaarvu tõusu tõttu maad napib ning automatiseeritud parkimismajad võimaldavad ruumi kokku hoida, sest autosid on võimalik paigutada üksteisele lähemale (pole vaja ruumi, et inimene saaks siseneda ja väljuda ega juurdesõiduteid). Erinevate tootjate ja uurimustööde põhjal võib ruumi konkreetsest parkimismajast ja meetodist sõltuvalt säästa 50% kuni 70% ulatuses. Samuti on automatiseeritud parklad keskkonnasäästlikumad ja ohutumad, sest välditakse olukorda, kus autojuhid peavad parkimiskohta otsides mööda parklat ringi sõitma, kulutades seejuures kütust ja võides potentsiaalselt sattuda kokkupõrkesse teise autoga. Lisaks eelnevale teeb automatiseeritud parkla lahenduse atraktiivseks mugavuse aspekt – kasutaja saab oma aega kokku hoida ning saab vältida võimalikku stressirohket olukorda. Automaatparkla miinusteks võib lugeda asjaolu, et pargitud autole puudub vahepeal ligipääs ning auto kättesaamiseks pärast parkimise lõppu peab sõltuvalt konkreetse süsteemi kiirusest mingisuguse aja ootama. [1, 2, 3]

Automatiseeritud parklate üheks võimalikuks realiseerimise viisiks ongi AGV roboti kasutamine. Selle meetodi eeliseks teiste ees on aspekt, et robot pole otseselt hoonega seotud ehk seda on võimalik viia ühest sobivate tingimustega kohast teise ning lisaks parkimismajadele kasutada ka näiteks parkimisplatsil. Samuti on selle väljavahetamine ja parandamine lihtsam kui teiste süsteemide puhul, kus peab parandused tegema hoones kohapeal või teostama suuremat demonteerimist. Kõnealusel juhul on selline lõputöö teema valik igati põhjendatud, sest on olemas konkreetne nõudlus.

AKM Engineering OÜ kliendi pool esitatud nõuded:

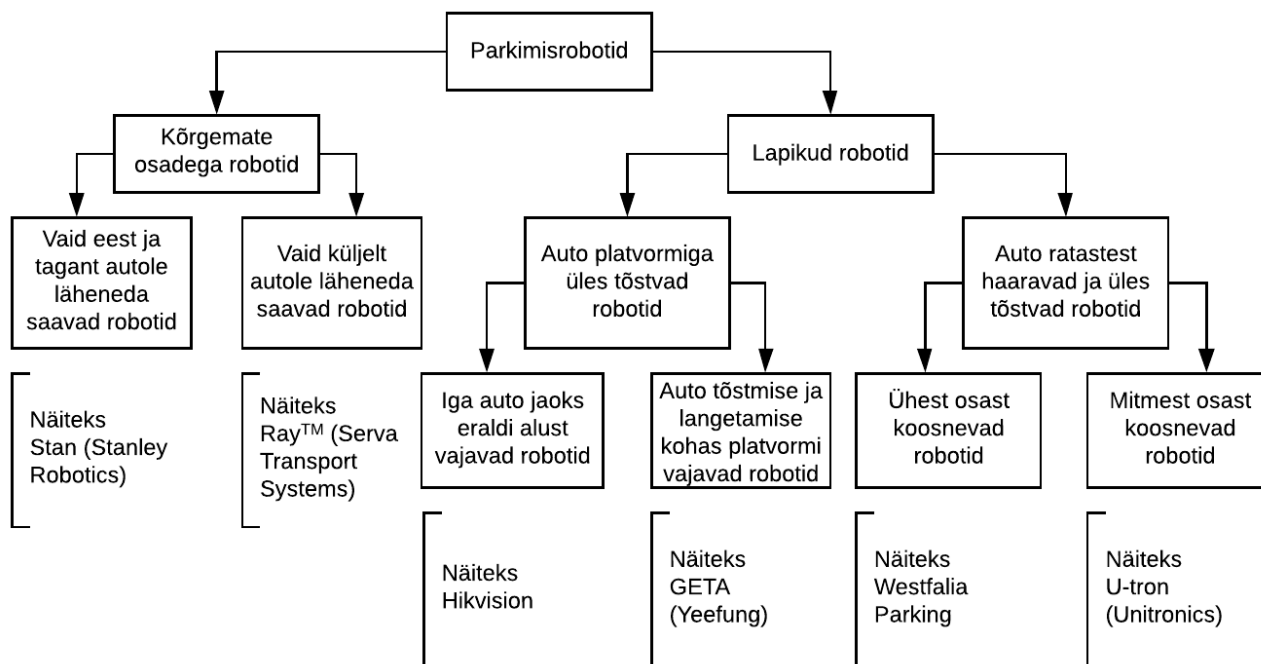
1. AGV peab olema kasutatav tasase põrandaga parkimismajades, mille kohta olid nende poolt saadetud joonised, mida konfidentsiaalsuse tõttu selles töös avaldada ei saa.
2. Saadud parkimismajade joonistest järelduvalt peavad roboti maksimaalsed gabariidid olema järgnevad: laius 230 cm, pikkus 550 cm.
3. Roboti kõrgus maksimaalselt 12 cm.
4. AGV peab olema võimeline transportima autosid maksimaalse kaaluga 4000 kg.
5. Robot ei tohi kahjustada transporditavat sõidukit ega ümberringi paiknevaid objekte.
6. Robot peab koosnema ühest tükist.
7. AGV peab olema võimeline tõstma autot ilma abivahenditeta (sh platvormid, alused jms)
8. Kasutama peab vaid kvaliteetseid komponente ehk eelistada ei tohiks odavamaid materjale vaid nende odavuse pärast.
9. Robot peab olema võimeline end pöörama kohapeal seistes ehk pööramisraadius peab olema võimalikult väike.
10. Kasutama peab lidareid ja lisaks veel mingisugust süsteemi ohutuks liikumiseks parklas.
11. Mitu robotit peavad olema võimelised töötama samal alal ning arvestama üksteisega.
12. AGV välimus peab olema efektne kaotamata funktsionaalsust.
13. Robot peab saama ennast laadida igal vabal selleks sobival hetkel.
14. Loodud lahendusega peab olema võimalik transportida autosid mõõtmetega alates Smart mudelist kuni Ford F250 sõidukiteni.
15. Robot peab olema võimeline auto alt läbi sõitma ning saama autole läheneda vähemalt kahelt poolt.
16. Robot peab töötama täielikult elektri peal, hüdraulikat ja pneumaatikat klient ei soovi.
17. AGV peab täislaetud akuga töötama vähemalt 30 minutit ning aku peab vastu pidama vähemalt kolm aastat.
18. Robot peab vajama võimalikult vähe ja/või harva läbi viidavat hooldust.

Käesolev töö koosneb kaheksast osast. Esiteks uuritakse olemasolevaid lahendusi ja tehakse nende positiivsete ja negatiivsete aspektide analüüs, millest lähtuvalt pannakse paika roboti põhimõtteline kontseptsioon. Seejärel tehakse olulised arvutused ja valitakse sobivad komponendid. Neljandas etapis projekteeritakse roboti mehaanika ning luuakse osaline CAD mudel. Järgneb roboti elektriline plokkskeem ning juhtimissüsteemi ja vajalike töötingimuste kirjeldus. Lõpuks vaadeldakse kavandatud AGV ohutust. Majanduslik analüüs ei saa selle töö raames olla eriti põhjalik ja seega

jääb antud tööst välja. Samuti ei oleks võimalik tulemust võrrelda olemasolevate lahenduste hindadega, sest need pole internetis kergelt kättesaadavad.

1. OLEMASOLEVAD LAHENDUSED

Parkimisroboteid on aastate jooksul loodud erinevaid. Parima käesoleva töö tingimustele vastava lahenduse leidmiseks vaadeldakse eksisteerivaid lahendusi ja analüüsitakse neid. Olemasolevate lahenduste tinglik jaotamine kategooriatesse on toodud joonisel 1.1.



Joonis 1.1 Olemasolevate parkimisrobotite tinglik jaotus.

Järgnevalt vaadeldakse igast kategooriast ühe sellisel põhimõttel töötava roboti näidet lähemalt ja käsitletakse selle plusse ja miinuseid.

1.1 Kõrgemate osadega robotid

Kõrgemate osadega robotite all peetakse silmas AGVsid, millest osa paikneb auto kerega samal kõrgusel ning seega piirab roboti liikumist auto suhtes. Käesoleva töö tingimustes on kirjas, et robot peab saama auto alt läbi sõita, seega loodaval lahendusel kõrgemaid osi olla ei saa, kuid parema ülevaate saamiseks siiski vaadeldakse ka selliseid AGVsid.

Enamasti on võimalik sellised robotid jaotada selgelt kaheks tüübiks vastavalt sellele, millisel poolt saab AGV autole läheneda. Leitud lahendustest on kõrgemate osadega robotid enamasti ühes tükis ehk ei koosne eraldiseisvatest osadest.

1.1.1 Eest ja tagant autole lähenevad robotid

Enamasti paikneb kõrgem osa eest ja tagant autole läheneda saavate robotite puhul ühes lühemas küljes. Võimalik oleks paigutada kõrgemale ulatuvad osad ka külgedele, kuid seda pole tehtud, sest see ei oleks optimaalne – automatiseeritud parklates püütakse autod paigutada nii tihedalt kui võimalik ja külgedel asuvad väljaulatuvad osad ei laseks sellisel juhul autode külgedele jäävat ruumi minimeerida.

Üheks populaarseimaks sellist tüüpi parkimisroboti näiteks on prantsuse firma Stanley Robotics poolt tehtud Stan (pilt 1.1).



Pilt 1.1 Stanley Robotics robot Stan. [4]

Stani väljatöötamist alustati 2015.aastal ning tänaseks on see kasutusel mitmes lennujaamas. Tehnilist infot pole palju saadaval, kuid on ilmne, et robot navigeerib kõrgemale osale paigutatud lidari abil ning autode liigutamiseks haarab korpusest väljuvate käppadega auto ratastest kinni. Stan pikendab ennast vastavalt auto pikkusele sedasi, et kõrgemast osast kaugemal asuvatest käppaaridest esimesed avanevad ja vastav roboti osa liigub edasi, kuni väljaulatuvad käpad jõuavad ratasteni. Seejärel avanevad ülejäänud käpad ja robot haarab auto ratastest. (Pilt 1.2.) [5]



Pilt 1.2 Stan Robotics robot Stan autoga.[4]

1.1.2 Küljelt autole lähenevad robotid

Küljelt autole lähenevate AGVde puhul asub kõrgem osa enamasti roboti pikemas küljes, vahel ka mõlemas lühemas küljes. Selliseid roboteid kasutades muutub sõltuvalt parkla omadustest autode paigutamise loogika võrreldes autole eest või tagant lähenevatele robotitega.

Selline on näiteks Serva Transport Systems loodud Ray™ robot (pilt 1.3).



Pilt 1.3 Serva Transport Systems robot Ray™. [6]

See AGV muudab enda mõõtmeid liikumise pealt vastavalt transportitava auto mõõtmetele, mis saadetakse auto peale võtmise kohast enne, kui robot autole ligineb. Auto tõstetakse haarates autorattapaaridest käppadega. Robotile on paigaldatud mitmeid lidareid, mida kasutatakse liikumisel kokkupõrgete vältimiseks. (Pilt 1.4.) [6]



Pilt 1.4 Serva Transport Systems robot Ray™ autoga. [6]

1.2 Lapikud robotid

Lapikute robotite all peetakse silmas roboteid, mis on maast enam-vähem ühtlase kõrgusega, seega kogu robot asub auto korpusest allpool. Sõltuvalt AGV gabariitidest võib selline omadus võimaldada auto alt läbi sõita ning mõned turul juba eksisteerivad lahendused ongi selleks võimelised.

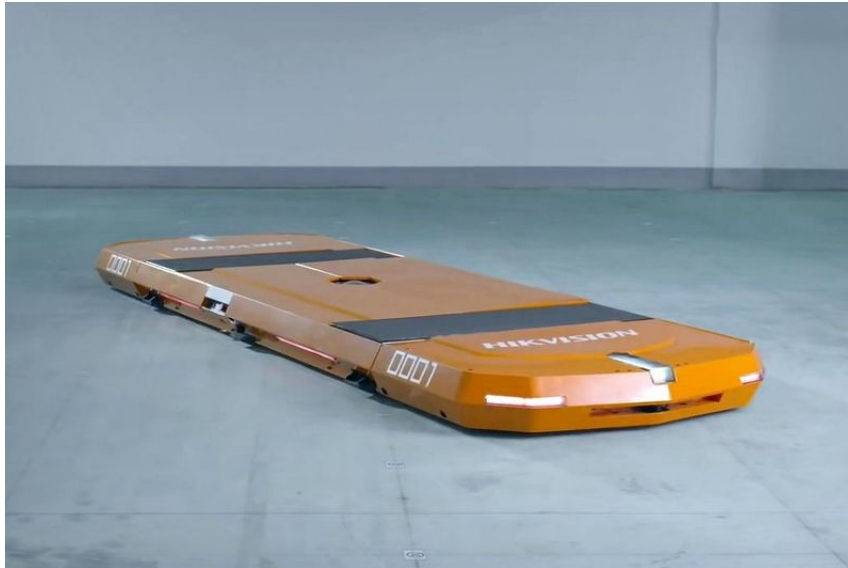
Lapikud robotid võib jagada peamiselt kaheks. Ühed tõstavad autod maa suhtes vertikaalse liikumise abil ning vajavad tihtipeale alust, millega autot transportida. Teised tõstavad autod üles ratastest haarates ehk horisontaalse liikumise abil, mis muutub auto vertikaalseks liikumiseks.

1.2.1 Auto platvormiga üles tõstvad robotid

Auto transportimiseks platvorme kasutavad robotite ehitus on üldjuhul üsna lihtne. Sellised robotid ei pea enda mõõtmeid auto mõõtmetele vastavalt sobitama, sest auto seisab kogu protsessi vältel alusel, mida liigutatakse. Oluline on märkida, et iga pargitava auto jaoks peab olema platvorm ning selliste robotite rakendamisel peab läbi mõtlema nende ringluse ja hoiustamise. Juhul, kui kõik platvormid on sama suurusega,

ei võimalda see ruumikasutust vastavalt pargitavate autode mõõtmete varieerumisele maksimeerida.

Funktsioneerimiseks eraldiseisvaid aluseid vajavate robotite üheks näiteks on Hikvisioni robot (pilt 1.5).



Pilt 1.5 Hikvision robot. [7]

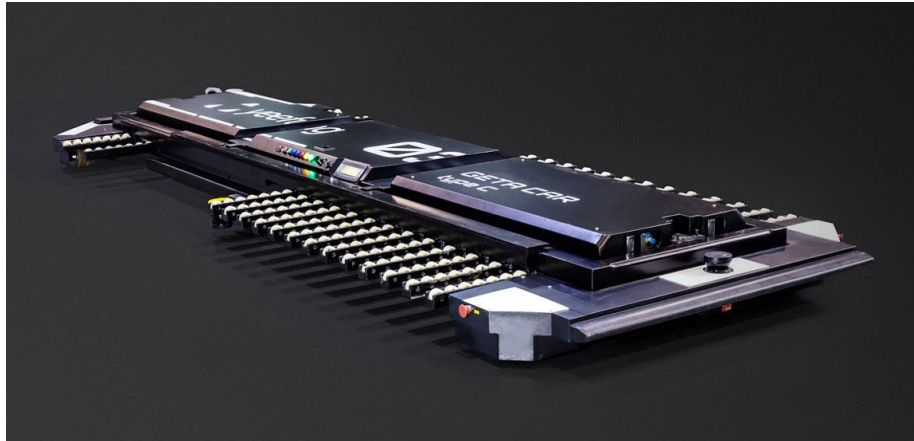
Selline robot liigub platvormi, mille peal transporditav auto asub, alla ning kahes otsas asuvate vertikaalsuunas liikuvate aktuaatorite abil tõstab selle üles. Hikvisioni robot navigeerib sellel asuvate sensorite abil nagu ka teiste lahenduste puhul. (Pilt 1.6.) [8]



Pilt 1.6 Hikvision robot autoga. [7]

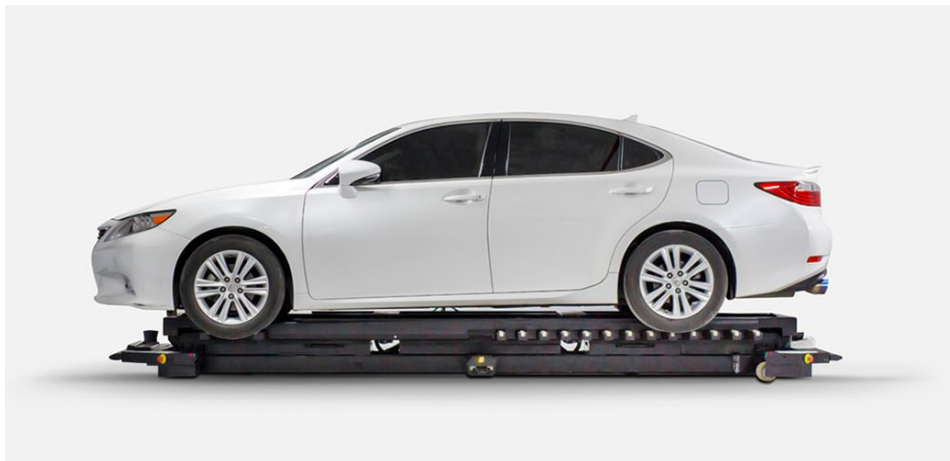
Eelmise robotiga sarnase lahenduse kasutamisel ringlevaid aluseid vältida soovides saab rakendada AGVsid, mis vajavad platvorme ainult auto pealevõtu ja maha panemise kohtades.

Näiteks kasutab sellist lahendust firma Yeefung robot GETA (pilt 1.7).



Pilt 1.7 Yeefung robot GETA. [9]

Sõiduk liigub ratastega varrastest koosnevale platvormile, GETA robot sõidab selle alla ja enda ülemist osa tõstes viib külgedel paiknevad vardad platvormist kõrgemale, tõstes seega auto üles. (Pilt 1.8.) [9]



Pilt 1.8 Yeefung robot GETA autoga. [9]

1.2.2 Auto ratastest haaravad ja üles tõstvad robotid

Auto ratastest käppadega haaravad ja sel viisil kahelt poolt lükates rattad üles tõstvad AGVd koosnevad enamasti kas mitmest osast või koosnevad ühest osast, kuid suurendavad oma mõõtmeid end lahti lükates.

Ühest osast koosnevate auto ratastest haaravate lapikute robotite näiteks on Westfalia Parking parkimisrobot (pilt 1.9).



Pilt 1.9 Westfalia Parking robot. [10]

Liikumiseks kasutatakse selle AGV puhul parkimisalale paigaldatud rööpaid, seega saab liikumine toimuda vaid lineaarselt kahes suunas, külgliikumine ja pööramine on lahendatud süsteemis liikuvate platvormidega. [10]

Mitmest osast koosnev sellist tüüpi parkimisrobot on näiteks Unitronicsi U-tron (pilt 1.10).



Pilt 1.10 Unitronics robot U-tron autoga. [11]

U-tron koosneb kahest eraldiseisvast osast, mis on programmeeritud koos funktsioneerima. Üks osa haarab esiratastest ja teine tagaratastest. Liigub see robot mööda maas märgitud joont, külgliikumist ise see ei võimalda. [11]

1.3 Lahenduste võrdlus lähtuvalt ülesande tingimustest

Tabelis 1.1 on kirjeldatud eksisteerivate parkimisrobotite positiivsed ja negatiivsed aspektid.

Tabel 1.1. Olemasolevate lahenduste positiivsed ja negatiivsed küljed.

Lahenduse tüüp		Positiivne	Negatiivne	
Kõrgemate osadega robotid	Vaid eest ja tagant autole läheneda saavad robotid	<ul style="list-style-type: none"> • Robot ühes tükis • Kergem komponente mahutada 	<ul style="list-style-type: none"> • Suuremad gabariidid • Autosid ei saa nii kompaktselt paigutada • Robot ei saa auto alt läbi sõita 	
	Vaid küljelt autole läheneda saavad robotid	<ul style="list-style-type: none"> • Pikem laadimiseta töö vältus 		
Lapikud robotid	Auto platvormiga üles tõstvad robotid	Iga auto jaoks eraldi alust vajavad robotid	<ul style="list-style-type: none"> • Robot ühes tükis • Roboti kõrgus pole piiratud • Sõltuvalt alusest saavad transportida ka muid asju (lisaväärtus paindlikkuse näol) 	<ul style="list-style-type: none"> • Lisaks vaja palette • Ringlevad paletid võivad viga saada
		Auto tõstmise ja langetamise kohas platvormi vajavad robotid	<ul style="list-style-type: none"> • Robot ühes tükis • Platvormi pole vaja ühest kohast teise liigutada 	<ul style="list-style-type: none"> • Kõikidel parkimiskohtadel peab paiknema platvorm
	Auto ratastest haaravad ja üles tõstvad robotid	Ühest osast koosnevad robotid	<ul style="list-style-type: none"> • Robot ühes tükis • Parkimiskohtadel pole vaja lisakonstruktsioone paigaldada 	<ul style="list-style-type: none"> • Roboti kõrgus on piiratud • Komponente üsna keeruline mahutada • Keerulisem valmistada universaalset võimalikult paljudele auto mõõtudele sobivat mudelit
		Mitmest osast koosnevad robotid	<ul style="list-style-type: none"> • Kompaktne disain, mahub läbi kitsatest kohtadest • Kergem valmistada universaalne vajalike gabariitidega autosid transportida saav mudel 	<ul style="list-style-type: none"> • Robot pole ühes tükis • Suurem komponentide arv – samu komponente on vaja roboti erinevates osades dubleerida

				<ul style="list-style-type: none"> • Erinevate osade sünkroniseerimine, võimalikud tõrked • Roboti kõrgus on piiratud • Komponente on keeruline mahutada
--	--	--	--	---

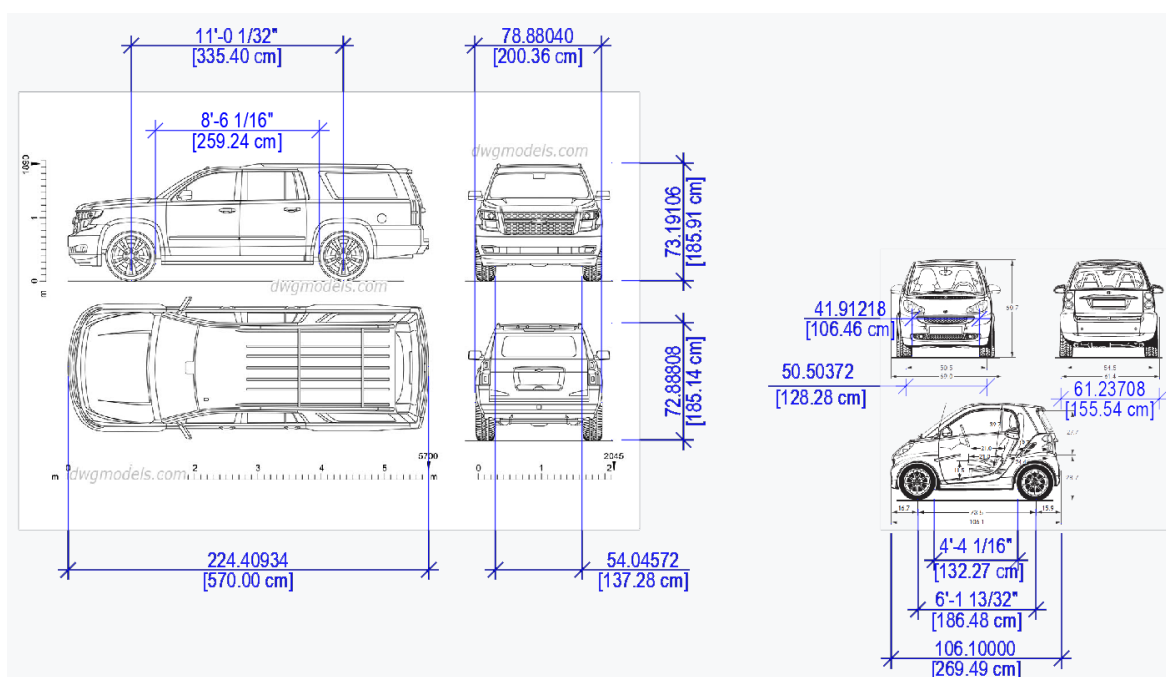
Lähtudes tingimustes kirjeldatud punktist, et robot peab olema võimeline auto alt läbi sõitma, sobivad käesoleva töö raames vaid lapikud lahendused. Samuti on kliendi poolt roboti kõrgust piirav nõue – robot võib olla maapinnast maksimaalselt 12 cm. AGV peab funktsioneerima ilma abivahenditeta ja koosnema ühest tükist, seega on rakendatavad vaid auto ratastest haaravate ja üles tõstvate ühest osast koosnevate robotite sarnased lahendused. Eksisteerivatest variantidest pole kliendile ükski teadaolev sobiv, sest need kas koosnevad mitmest osast või on vastavalt auto pikkusele lahti lükkuvad, kaotades seejuures potentsiaalselt kasutatavat pindala. Lisaks eelnevale ei võimalda suurem osa sobivasse kategooriasse kuuluvatest ja turul saadavatest variantidest liikuda ükskõik mis suunas.

2. ROBOTI PARAMEETRITE JA KONTSEPTSIOONI TÄPSUSTAMINE

Lähtuvalt eelmises peatükis olemasolevate lahenduste vaatlemisel tehtud järeldustest fikseeritakse kliendi vajadustele vastava parkimisroboti tööpõhimõte ja disain. Loodav AGV peab olema eksisteerivate robotitega konkurentsivõimeline ning omama positiivselt rakendatavaid eripärasid.

2.1 Roboti mõõtmed ja kere kontseptsioon

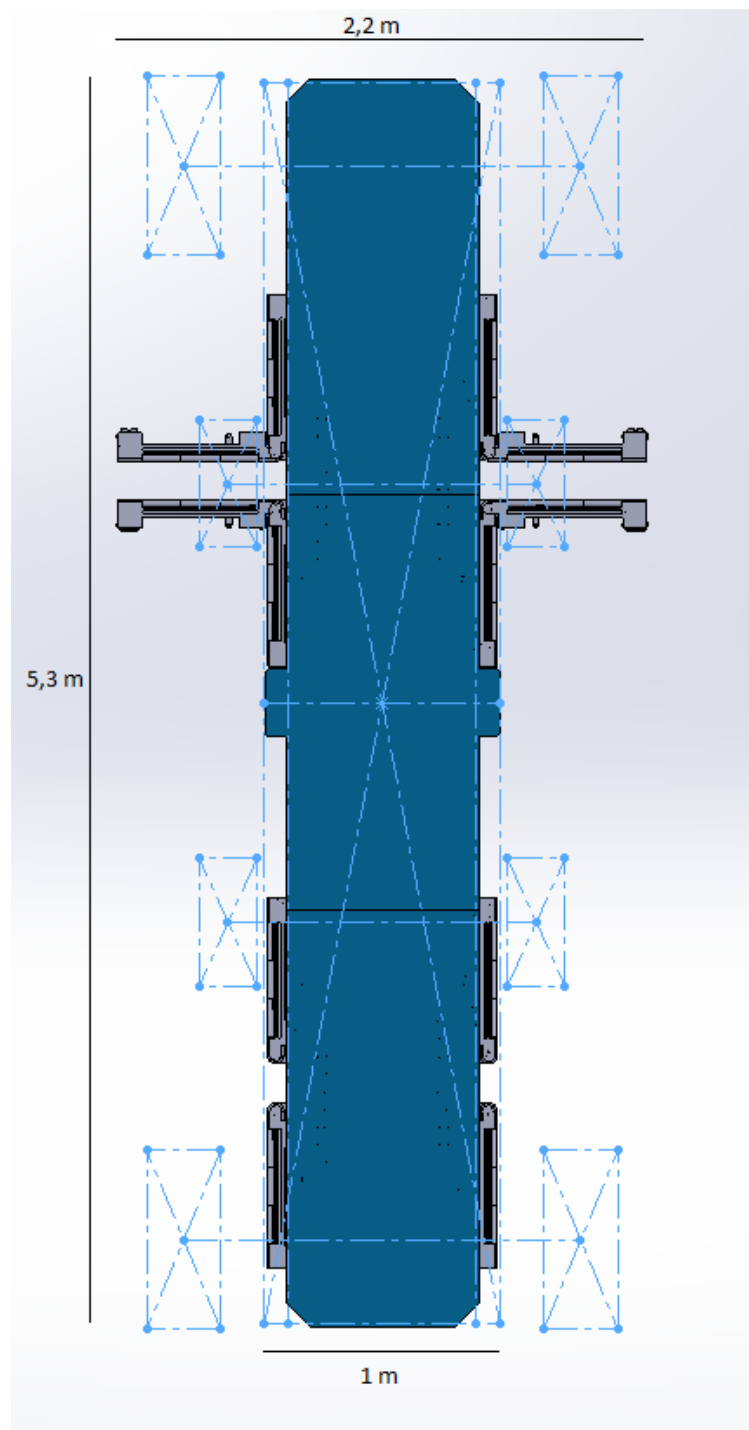
Konkreetsete mõõtmete määramisel lähtuti kliendi poolt saadetud parkla joonistest ja transporditavate autode minimaalsetest ja maksimaalsetest mõõtmetest. Kliendi poolt edastati suurima ja väikseima transporditava auto gabariidid (pilt 2.1).



Pilt 2.1 Suurima ja väikseima transporditava auto gabariidid.

Kliendi soovil peab kere püsima roboti funktsioneerimise ajal monoliitne, et võimalikult palju ruumi kasutada akude ja muude komponentide paigaldamiseks, ehk liikuma peaksid vaid roboti käpad.

Eelnevat arvesse võttes määrati roboti mõõtmeteks: pikkus 5,3 meetrit, laius kinniste käppadega 1 meetrit ja lahtiste käppadega 2,1 meetrit. Need mõõtmed jäävad tingimuste piiresse ning võimaldavad transportida nii Smarti kui ka Ford F250-t. (Pilt 2.2.)



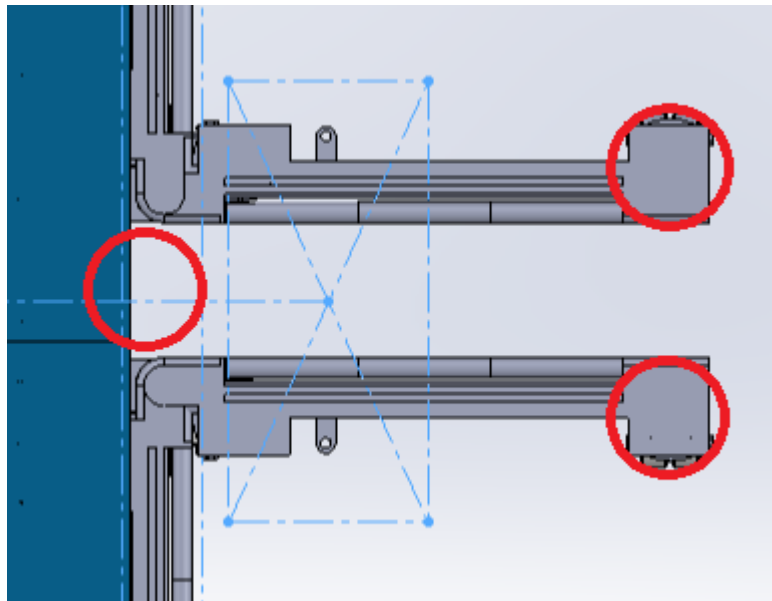
Pilt 2.2 Roboti kere mõõdud ning suurima ja väikseima auto rataste asukohad.

Roboti maksimaalseks kõrguseks on lubatud 12 cm, kusjuures vahemaa korpuse alumise osa ja maapinna vahel peab olema vähemalt 10 mm vältimaks põhja kraapimist vastu maapinda mingisuguste siledale põrandale vaatamata võimalike ebatasuste korral. Seega suurema osa komponentide maksimaalseks kõrguseks on lubatud 11 cm.

2.2 Roboti liikumine

Roboti liikumine peab olema võimalik ükskõik mis suunas, kusjuures pööramisraadius olgu võimalikult väike. Seetõttu peavad rattad paiknema sümmeetriliselt ning kinni kiilumise vältimiseks peavad kõik rattad olema võimalised kohapeal pöörama.

AGV peab liikuma rataste abil. Korpuse sees asuvad rattad on vedavad ja käppade otstesse ja käppademehhanismi keskele paigutati vabalt liikuvad *casters* rattad, et vältida võimalikku võnkumist (pilt 2.3). *Casters*-ite valikul peab silmas pidama, et kõige väiksema pööramisraadiusega on kahe rattalised *swivel* mudelid.



Pilt 2.3 *Casters* rataste asukohad käppademehhanismil.

Garanteerimaks roboti korrektset liikumist, on vaja valida roboti asukohta ja ümberkaudseid objekte tuvastada võimaldavad sensorid. Selleks kasutatakse peamiselt nii kliendi nõude kui ka võimalike variantide kaalutlusel lidareid. Lidarid paigutatakse nii robotile (neli tükki – üks iga külje keskele), kui ka sõltuvalt parkimisala iseloomust mastidele, mis võimaldavad jälgida üldpilti ja kommunikeerida robotile teiste samal alal töötavate, kuid selle otsesest vaateväljast välja jäävate robotite asukohta. Lisaks sellele paigaldatakse AGV-le võimalikest riketest tulenevate ohtude vältimiseks varusüsteemina magnetsensorid (samuti neli tükki – üks iga külje keskele lidari taha), mis tuvastavad parkimisalal peamistele liikumisteedele paigaldatud magnetradu.

2.3 Akud ja nende laadimine

Laadimine peab olema võimalik igal piisavalt pikal vabal hetkel, kui robot pole parasjagu autot transportimas või sihtkohta sõitmas. Akud peavad sellist laadimisviisi võimaldama ja seejuures hästi vastu pidama. Kliendi soovil peab robot töötama täislaetud akuga vähemalt pool tundi ning akud peavad vastu pidama vähemalt kolm aastat. Peamiselt kasutatakse AGV-de puhul AGM (ingl k *absorbent glass mat*)/Gel, *pure lead*, liitium ja FLA (ingl k *flooded lead acid*) akusid. AGM ja Gel akude puhul ei saa rakendada vabadel hetkedel laadimist, sest liiga lühikesed laadimistsüklid kahjustavad nimetatud akusid. FLA akude kasutamiseks peab olema ruum hästi ventileeritud ning lisaks vajavad need palju hooldust, seega neid rakendatakse peamiselt odava hinna tõttu välisruumides kasutatavate LGV-de (ingl k *large goods vehicle*) puhul. Järelikult käesoleva töö tingimuste tõttu pole AGM/Gel ega FLA akud lahenduses kasutatavad. Tabelis 2.1 võrreldakse kahte allesjäänud sobivamat akutüüpi, mis mõlemad võimaldavad vabadel hetkedel laadimist: liitium ja *pure lead* akut. [12]

Tabel 2.1. Liitium ja *pure lead* aku võrdlus. [12]

Omadus	Liitium	Pliiaku (<i>pure lead</i>)
Laadimis-tühjendustsüklite arv	5000 tsüklit 50% DoD (ingl k depth of discharge) puhul, 3000 tsüklit 70% DoD puhul	1200 tsüklit 60% DoD puhul
Kasutegur	95%	80-85%
Laadimiskiirus	Kolm kuni kuus korda kiirem kui Gel akud (10% AGV tööajast)	Kolm korda kiirem kui Gel akud
Suurim tühjaklaadumise sügavus	80%	60%
Energiatihedus	Umbes kolm korda suurem kui pliiakudel	Hea
Ohutus	Vajab ülelaadimise kaitset	Madal gaasi emissioon laadimisel
Hind	Kallis	Kallim kui AGM/Gel, kuid odavam, kui liitiumakud

Kuna kliendi soovile vastavalt pole hind takistuseks, on paremaks valikuks liitiumakud koos ülelaadimise kaitsega. Samuti on liitiumakusid kergem leida sobivates mõõtmetes.

Parkimisalale sõltuvalt selle suuruselt ja kliendi soovist paigaldatakse vastav arv laadimisjaamu. Algselt oli soov roboti suurte gabariitide tõttu paigaldada

laadimisklemmid mõlemasse roboti otsa, kuid STOPP nupu intergratsiooniks poleks muidu ruumi, seega paigaldatakse kaks paari klemme ühele roboti lühemale küljele. Laadimiskohal on võimalik laadida mõlemast korruga, et laadimisprotsess kiirem oleks. Laadimine peab saama toimuda igal vabal hetkel ja robot peab saama dokiga ühineda ilma kõrvalise abita.

2.4 Auto tõstmine

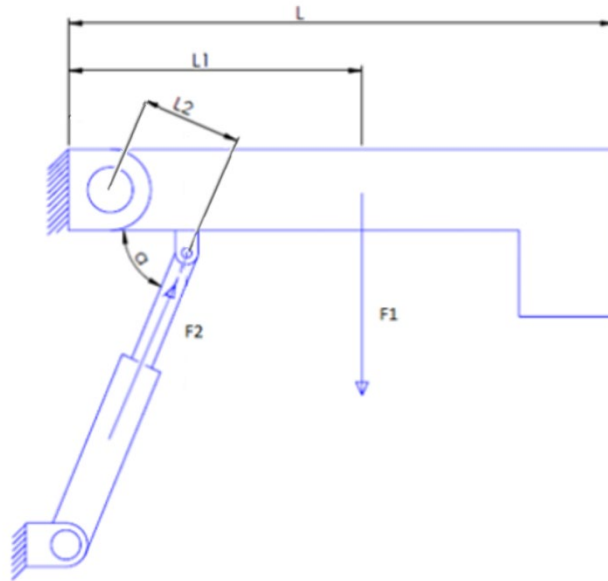
Auto tõstmiseks kasutatakse käppadega haaramise meetodit, sest see on võimalikest variantidest kõige lihtsam ja vastupidavam. Käpad suruvad ratast kahelt poolt ning ratas libiseb selle tulemusel maapinna suhtes üles, mille tulemusena jääb auto roboti käppadele seisma. Käppade äärtesse saab hõõrdejõu vähendamise eesmärgil paigutada rullikud, mis auto üles liikumisel pöörlevad ja seega vähendavad auto tõstmiseks vajalikku jõudu. (Pilt 2.4.)



Pilt 2.4 U-tron robot auto ratast haaramas. [13]

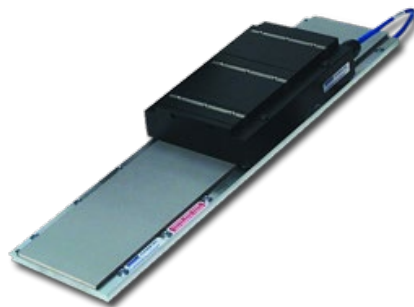
2.5 Käppade liigutamine rataste haaramiseks

Käppade liigutamiseks on kõige sobilikum variant elektriline silinder, mille üks ots kinnitatakse roboti korpuse juurde ja teine käpa külge. Avanedes ja sulgedes liigutab silinder käppa 90 kraadi ulatuses. Sel viisil toimib käppade mehhanism justkui tõmbid käärid, millel jääb piisav vahe sisse, et rehvi jääks käppade vahele veidi sisse vajununa pidama, vältimaks käppadelt maha libisemist. (Pilt 2.5.)



Pilt 2.5 Elektrilise silindri paiknemise põhimõtteline skeem avatud käpa puhul.

Lisaks käppade liigutamisele 90 kraadi ulatuses on vaja käppade mehhanismi lineaarselt ümber paigutada, et kohandada selle asukohta vastavalt transporditava auto teljevahеле. Arvestades, et transporditavate autode teljevahede ulatus peab olema võimalikult suur, ei sobi siinkohal elektrilise silindri lahendus, sest see piiraks mehhanismi liikumist. Klient avaldas soovi siinkohal valida sobiv mootor firma Kollmorgeni tootevalikust ning nende toodete seast on sellise ülesande täitmiseks kõige sobivam *direct drive linear* (DDL) mootor, mis kujutab endast mööda magnetitega rada liikuvat lamedat rootorit (pilt 2.6). Kui sellisele mootorile mitte anda toidet, võib ta mööda rada libiseda, see võimaldab kohandada käppademehhanismide asukohta autoratta suhtes käppade sulgemise protsessi jooksul, mis kindlustab, et ratast ei kahjustata. Võimalik oleks käppade mehhanismi liigutamiseks kasutada ka käigukruviga konstruktsiooni, kuid DDL mootor sümpatiseeris kliendile rohkem ning kujutab endast lihtsamat lahendust. [14]



Pilt 2.6 Kollmorgeni DDL mootor. [14]

Rataste asukoha fikseerimiseks kasutatakse kaugussensoreid – kui kaugussensor on rattad tuvastanud, lõpetab DDL mootor liikumise ja toide lülitatakse välja ning tänu mööda rada libisemisele positsioneerub see käppade sulgemisel rehvidega täpselt kohakuti nagu käppadele vaja. Kaugussensorid võivad näiteks olla optilised, ultraheli, magnetilised, induktiivsed või mahtuvuslikud. Antud lahenduses peab sensor mingisuguse vahemaa tagant tuvastava rehvi, seega ei sobi kontakti vajavad või reljeefset tumedat kummist materjali mitte nägevad sensorid. Järelikult, arvestades seejuures ka võimalike ilmastikuoludega välisruumis või parkimismajja sisenenud autolt tilkuda võivate sademetega, on siinkohal kõige sobilikum kasutada ultraheli kaugusandureid, sest näiteks optiliste andurite puhul võib see põhjustada valesti funktsioneerimist. [15]

Paika pandud kontseptsiooni põhjal saab teha vajalikud arvutused ja valida konkreetsed komponendid, mida roboti projekteerimises kasutatakse.

3. OLULISED ARVUTUSED JA PEAMISTE KOMPONENTIDE VALIK

Selles peatükis kirjeldatakse tehtud olulised arvutused ja analüüsid ning nende alusel tehakse kõige olulisemate sobivate komponentide valik. Esmalt fikseeritakse sobivad aktuaatorid ja vastavad mootorid ning seejärel pannakse paika kasutatavad sensorid. Komponentide otsimisel kasutati teadaolevalt hea kvaliteediga firmade kodulehekülgi ja katalooge, sest kliendi jaoks on kvaliteet olulisem kui hinna minimeerimine.

3.1 Mootorid ja aktuaatorid

Kõik mootorid ja aktuaatorid peavad tingimustest lähtuvalt olema elektrilised. Eraldi lahendust on vaja vedavate rataste, käppade mehhanismi liigutamise ja rataste haaramise jaoks.

3.1.1 Vedavate rataste mehhanism ja mootor

Vedavate rataste täpne mehhanism ei kuulu käesoleva töö raames avalikustamisele, sest see on spetsiaalselt selle roboti jaoks väljatöötatud ja firma ei soovi seda avaldada. Kuna tegemist on olulise osaga robotist, siis siiski seda kirjeldatakse üldsõnaliselt ning teostatakse mootori valik.

Disainitud konstruktsioon on võimeline pöörama ratast ükskõik mis nurga alla ning sobitub mõõtmete poolest roboti sisemusse. AGV-l on kaheksa vedavat ratast, mis on paigutatud sümmeetriliselt. Konstruktsioon ja mootorid on valitud viisil, et robot oleks võimeline transportima autosid maksimaalse massiga 4000 kg. Arvestades kõrgusepiiranguid valiti rataste diameetriks 120 mm.

Käesoleva töö raames võib mootorite valikuks tehtavad arvutused lihtsustada, sest eesmärgiks on välja töötada kontseptsioon, seega detailidesse ei laskuta. Vajaliku võimsuse kindlaks määramiseks arvutatakse, kui palju jõudu on vaja, et robot hakkaks kohapealt liikuma. Tegelikuses mõjuvad robotile ka takistusjõud (näiteks veerehõõre ja pinnakalle), kuid kuna need on vähem olulised, siinkohal neid ei arvestata.

Kohapealt liikumiseks kuluva jõu lihtsustatud arvutamiseks kasutatakse valemit 3.1.

$$F = m * a, \tag{3.1}$$

kus F – kohapealt liikumiseks kuuluv jõud, N,

m – mass, kg,

a – kiirendus, m/s².

Roboti enda tegelik mass pole projekteerimise pooliku seisu tõttu veel teada, kuid see kindlasti ei ületa 4000 kg. Maksimaalne lubatud transportitava auto mass on samuti 4000 kg, seega arvestatakse, et kohepealt peab liigutama 8000 kg.

Kiirendus arvutatakse valemiga 3.2.

$$a = \frac{v - v_0}{t}, \quad (3.2)$$

kus a – kiirendus, m/s^2 ,

v – maksimaalne lubatud kiirus, m/s ,

v_0 – algne kiirus, m/s ,

t – aeg, mis kulub maksimaalse kiiruse v saavutamiseks, s .

Määratakse, et maksimaalne lubatud liikumiskiirus on 1.3 m/s ning selle saavutamiseks kuluv aeg on 7 sekundit. Liikumist alustab robot paigalseisust ehk algne kiirus on 0 m/s. Järelikult

$$a = \frac{1.3 - 0}{7} \approx 0,19 \text{ m/s}^2.$$

Seega

$$F = 8000 * 0,19 = 1520 \text{ N}.$$

Robotil on kaheksa vedavat ratast ning iga rattamehhanismi jaoks on kaks mootorit. Järelikult peab iga mootor suutma vedada 95 N.

Mootori võimsus määratakse valemiga 3.3.

$$P = M * \omega, \quad (3.3)$$

kus P – võimsus, W ,

M – jõumoment, Nm ,

ω – maksimaalne nurkkiirus, rad/s .

Jõumomendi leidmiseks kasutatakse valemit 3.4.

$$M = F * r, \quad (3.4)$$

kus M – jõumoment, Nm ,

F – jõud, N ,

r – ratta raadius, m .

Ratas on raadiusega 0.06 m, seega

$$M = 95 * 0.06 = 5.7 \text{ Nm}.$$

Nurkkiirus leitakse valemiga 3.5.

$$\omega = \frac{v}{r}, \quad (3.5)$$

kus ω –nurkkiirus, rad/s.

v – roboti maksimaalne kiirus, m/s,

r – ratta raadius, m.

$$\omega = \frac{1.3}{0.06} = 21.667 \text{ rad/s} = 206.905 \text{ 1/min.}$$

Eelnevatest arvutustest järeldub, et

$$P = 5.7 * 21.667 = 123.5 \text{ W.}$$

Reaalses olukorras võib maksimaalse kiiruse saavutamiseks kuuluv jõud olla suurem, sest parkimisalal võib leiduda näiteks väikseid kivikesi ning peab arvestama nendes olukordades suureneva võivaid takistusjõude. Seetõttu võtetakse varuteguriks 2 ning arvestatakse, et vajalik võimsus maksimaalse kiiruse saavutamiseks on 247 W.

Arvutuste kohaselt ja gabariitidelt sobivatest valiti reaalsuses mõjuvaid, kuid siinkohal arvestamata takistusjõudusid silmas pidades mootoriks kindluse mõttes võimsama Kollmorgen AKM2G-21G: võimsusega 456 W ja pöörete arvuga minutis 8000 rpm ehk 8000 1/min [18]. Neid on robotis 16 tükki.

Selleks, et juhtida robotit vajaliku kiirusega, on vaja reduktorit. Sobiva reduktori leidmiseks arvutatakse välja ülekandearv kasutades valemit 3.6.

$$i = \frac{\omega_2}{\omega_1}, \quad (3.6)$$

kus i – reduktori ülekandearv,

ω_1 – nurkkiirus, mida on vaja maksimaalse kiiruse saavutamiseks, 1/min,

ω_2 – mootori nurkkiirus, 1/min.

$\omega_2 = 8000 \text{ 1/min}$, seega

$$i = \frac{8000}{206.905} \approx 38.67.$$

Reduktoriks valiti lähima ülekandeteguriga 40 ja kasuteguriga 0.92 Neugart PLE060 [19], mida on samuti kasutusel 16 tk. Reduktori kasutegurit arvestades kaotatakse veidi võimsuses, kuid 419.52 W ehk ümardatult summaarselt 16 mootori peale 6.7 kW on koos varuga piisav.

3.1.2 Mootor/aktuaator käppade mehhanismi liigutamiseks

Kliendi soovil ja sellise lahenduse sobilikkuse tõttu valiti Kollmorgeni toodetest välja DDL mootor. Käppade mehhanismi liigutamine toimub vaid koormuse puudumisel ehk kui AGV-l pole parasjagu autot. Käppade mehhanismi toetava kolme vabalt liikuva ratta tõttu ei vaja kõnealune mootor suurt võimsust, kuid see peab vastu pidama sellele mõjuda võivale kuni jõule auto transportimisel. Lisaks eelnevale, on oluline asjaolu, et maksimaalse lubatud kõrguse tõttu mahub korpusesse kinnituste tarbeks vajalikku ruumi arvestades vaid mootor ja rada summaarse kõrgusega 60 mm. Seetõttu valitakse võimsaim sobivate mõõtmetega DDL mootor ja vastav magnetrada.

Kollmorgeni kataloogist valiti välja mootor IC44-050A3AC ja magnet rada MC050, mille summaarseks kõrguseks on 58.37 mm ning omavahelise külgetõmbejõuga 9.8 kN, mis kindlustab, et käppade avamisel ja auto üles tõstmisel ega roboti liikumisel autot transportides ei liigu mootor paigast. [20]. Vaja on ühte mootorit ja magnetrada käppadepaari kohta ehk robotis on neid seega neli komplekti.

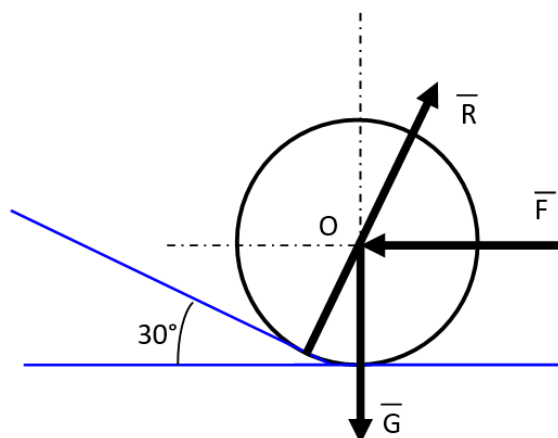
3.1.3 Mootor/aktuaator rataste haaramiseks

Silinderaktuaatori valimiseks arvutatakse 4000 kg kaaluva auto tõstmise jaoks vajalik jõud valemiga (3.11).

$$F_2 = \frac{F_1 * L_1}{L_2} , \quad (3.11)$$

kus L_1 – koormuse keskpunkti kaugus käpa liigesekohast, mm,
 L_2 – jõuõlg ehk lükkamiskoha kaugus käpa liigesekohast, mm,
 F_1 – käpale mõjuv koormus, N,
 F_2 – auto tõstmiseks kuluv jõud, N.

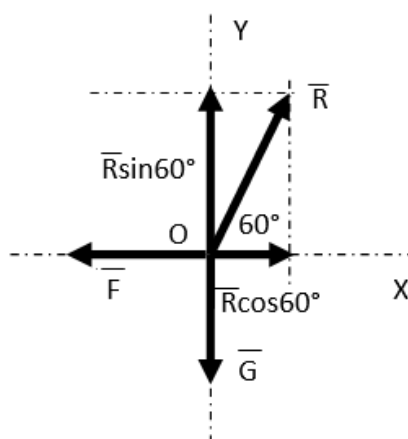
Rullikud käpa peal toimivad kui kaldpinnad, mis jaotavad raskusjõu mitmeks komponendiks. Hõõrdejõudu siinkohal ei arvestata, sest käppadel asuvad vabalt keerlevad rullikud.



Pilt 3.1 Põhimõtteline skeem kápale mõjuvatest jõududest.

Kuna tegemist on kontseptsiooni väljatöötamisega, lihtsustatakse mõjuvavate jõudude süsteem kahemõõtmeliseks. Autoratas mõjub põrandale maksimaalse jõuga $G \approx 4903.4$ N (500 kg). Määratakse jõud F , mis on vajalik ratta veeremiseks kápa peale. Selleks vabastatakse ratas sidemetest, milleks on kaldpind, ja asendatakse need rattale mõjuvate reaktsioonijõududega R ja G . (Pilt 3.1.)

Vaadeldakse ratta keskpunkti ehk punkti O tasakaalu tingimusi. Selles punktis saadakse jõududest F , G ja R tasakaalustatud jõudude süsteemi. Jõud R on perpendikulaarne kápa kaldpinnale. Punkt O määratakse koordinaatsüsteemi alguspunktiks ja kantakse sellesse punkti kõik jõud, seejärel projitseeritakse need telgedele x ja y . (Pilt 3.2.)



Pilt 3.2 Mõjuvad jõud koordinaatteljestikus.

Tasakaalu tingimuse võrrandid on järgnevad

$$\sum X = 0; -F + R * \cos 60 = 0; \tag{3.12}$$

$$\sum Y = 0; R * \sin 60 - G = 0; \tag{3.13}$$

Võrrandi 3.13 põhjal on võimalik leida jõud R

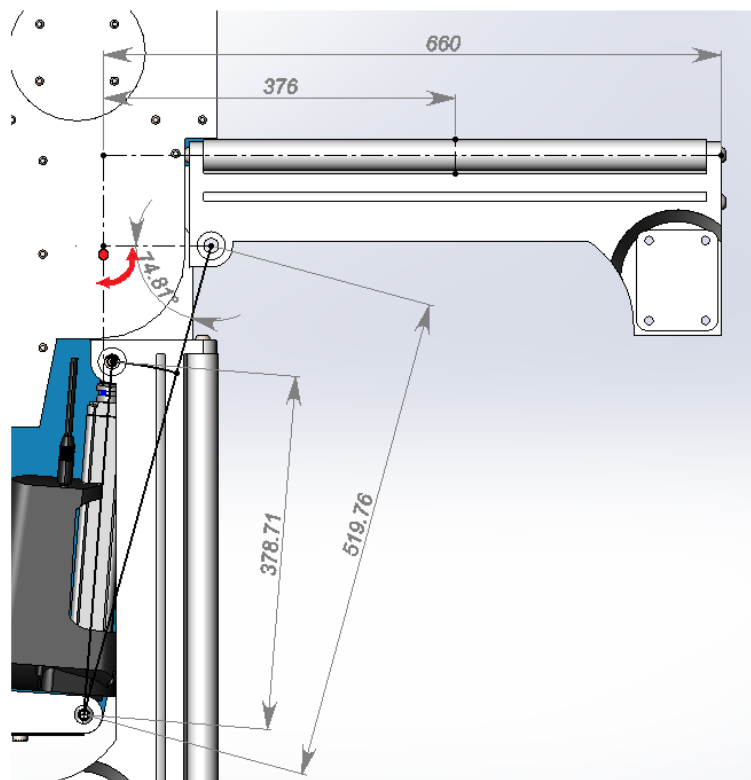
$$R = \frac{G}{\sin 60} = \frac{4903.4}{0,866} \approx 5661.96 \text{ N.}$$

Sellest järeldub, et vastavalt tasakaalu tingimusele 3.12

$$F = R * \cos 60 = 5661.96 * 0,5 = 2830.98 \text{ N.}$$

Seega 30-kraadise kaldpinnaga käppade puhul $F_1 = 2830.98 \text{ N}$.

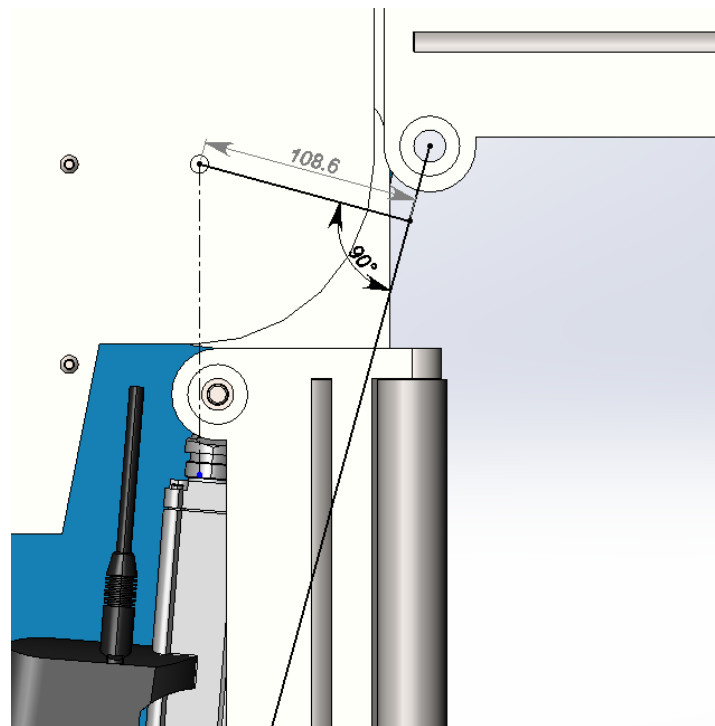
Kuna arvutuskäik sõltub konkreetsetest mõõtmetest ja kompaktsed disaini tõttu mõjutavad konkreetse täituri gabariidid saadavat tulemust, siis valitakse Linak LA36, mille tõmbamis- ja lükkejõud on 10 kN ja vardakäik 150 mm [21] ning kontrollitakse, kas see sobib 4000 kg kaaluva auto tõstmiseks. Auto ühte ratast tõstab korraga kaks silindrit, seega üks silinder peab kápamehhanismiga suutma tõsta 500 kg. Paigutades silinderaktuaatori LA36 mudelisse, saadi arvutuste jaoks vajalikud mõõtmed mudelilt mõõtmise teel (pilt 3.3).



Pilt 3.3 Linak LA36 paigutus mudelis ja arvutuste jaoks vajalikud mõõtmed.

Pildil 3.3 on käpa pöörlemistelg märgitud punase punktiga. Silinderaktuaatori kinnituskoht käpa küljes asub alati roboti käpa pöörlemistelje suhtes kere pikema

küljega paralleelsest keskteljest kaugemal ehk pilt 3.1 puhul veidi paremal pool, sest vastasel juhul käpp lukustuks ja ei hakkaks silindrit käivitades väljapoole liikuma.



Pilt 3.4 Linak LA36 jõuõlg avatud käpa puhul.

Pildil 3.3 on näha, et $L_1 = 376$ mm ja pildil 3.4 kujutatuna jõuõlg $L_2 = 108.6$ mm, järelikut

$$F_2 = \frac{2830.98 * 376}{108.6} \approx 9802 \text{ N.}$$

Käpp võib hakata autot tõstma sõltuvalt selle gabariitidest aga juba algasendist väiksema nurga all, seega peaks arvestama ka lühima võimaliku jõuõla varianti, milleks varuga määrame 105 mm. Seega

$$F_2 = \frac{2830.98 * 376}{105} \approx 10137.6 \text{ N.}$$

Seega Linak LA36 24V DC silinderaktuaator, mille tõmbamis- ja lükkejõud on 10 kN ja vardakäik 150 mm, ei pruugi sõltuvalt autorataste diameetrist (täpsemalt jõuõlast). [21] Kuna sobivate mõõtmetega võimsamat usaldusväärset elektrilist silinderaktuaatorit pole leitud, tuleb piirata lubatud transporditavate autode massi. Jättes varu arvestatakse, et maksimaalse massiga auto tõstmiseks peaks piisama jõust suurusega 9500 N. Arvutuskäiku tagurpidi läbides järeldub, et lubatud auto mass on 3748 kg. Iga käpa kohta on vaja ühte sellist täiturit, seega neid on robotis kokku kaheksa tükki.

3.2 Sensorid

Sensorid on olulised, et robot funktsioneeriks nii nagu peab. Ohutu liikumise tagamiseks on vaja lidareid ning varuvariandina magnetsensoreid, mis tuvastaksid parkimisalal peamistele liikumisteedele paigaldatud magnetradu.

3.2.1 Lidar

Lidari puhul on oluline, et selle vaatenurk oleks vähemalt 180 kraadi. Parkimisalal ümberkaudsete objektide tuvastamiseks piisab 2D lidarist, mis suudab tuvastada objekte vähemalt vahemikus 0.1 kuni 15 m arvestades, et roboti maksimaalne liikumiskiirus on 1.3 m/s. Maksimaalsed võimalikud mõõtmed lidari jaoks on 150 mm x 150 mm x 90 mm. Lidar peab vastu pidama tolmu ja pritsmete ehk omama vähemalt IP54.

Sobivana valiti digitaalsete väljunditega firma SICK 2D lidar TIM781-2174101 (pilt 3.5). Selle mõõtmed on 60 mm x 60 mm x 86 mm, töövahemik 0.05 m kuni 25 m ja IP klassiks on IP67. [22]



Pilt 3.5 SICK TIM7xx lidar. [22]

Lidarid paiknevad iga roboti külje keskpaigas, seega on neid süsteemis rakendatud kokku neli tükki.

3.2.2 Magnetsensor

Magnetsensori maksimaalsed mõõtmed võivad olla 200 mm x 50 mm x 80 mm. See peab vastu pidama tolmu ja pritsmete, seega olema vähemalt IP54. Peale joone jälgimise peaks see võimaldama saata ka mingisugust lisainfot, et optimeerida roboti liikumist ehk näiteks pärast mingisugust märgistust ennetavalt kiirendada või aeglustada.

Valiti Roboteq magnetsensorigest analoog ja PWM väljundiga mudel MGS1600GY, mille gabariidid on 165 mm x 30 mm x 25 mm ja IP klass IP64. Lisaks magnetjoone järgimisele tuvastab see ka joonest vasakul või paremal paiknevaid markereid ning edastab need digitaalse signaalina. [23] (Pilt 3.6.)



Pilt 3.6 Roboteq MGS1600GY magnetsensor. [23]

Magnetsensoreid on AGVs analoogselt lidaritele samuti neli.

3.2.3 Kaugussensorigid

Kaugussensorigid peaksid töötama ultrahelil nagu eelnevas peatükis kirjeldatud. Sensorigi töövahemik peab olema vähemalt 100 mm kuni 700 mm, et oleks võimalik tuvastada erineva teljelaiusega autosid ja maksimaalsed mõõtmed võivad olla 90 x 20 x 50 mm. Kuna kaugussensorigid asuvad samuti roboti külgedel ning sellele võib sattuda pritsmeid, peab see olema IP54 või kõrgem.

Sobivatest valiti välja analoogse väljundiga Pepperl-Fuchs *Ultrasonic sensor* UB800-F12P-EP-V15, mille töövahemik on 30 ... 800 mm ja mõõtmed 42 x 15 x 49 mm (pilt 3.7). IP klass on sellel IP54. [24]



Pilt 3.7 Pepperl-Fuchs *ultrasonic sensor* UB800-F12P-EP-V15. [24]

Kaugussensoreid on seadmes kasutusel üks käppadepaari kohta ehk samuti neli tükki.

3.3 Kontroller ja vajalikud moodulid

Kontroller peab olema võimeline saama kõikide andurite sisendit ja seda vastavalt roboti tööpõhimõttele töötlemata. Süsteemis on neli digitaalsete väljunditega lidarit, neli analoogväljundiga magnetsensorit, neli analoogväljundiga kaugussensorit ning lisaks muud käesolevas töös käsitlemisele mitte kuuluvad komponendid. Lisaks kontrollerile on vaja kohtvõrgu kommutaatorit, servokontrollereid ja servoajam, et reguleerida juhtratuste liikumist vastavalt sensoritest tulevatele signaalidele ning I/O (ingl *k input/output*) ehk sisend/väljund moodulit.

Kontrolleriks valiti Syslogic OEM S-81 (pilt 3.8), mis on spetsiaalselt mõeldud AGV masinatele. [25]



Pilt 3.8 Syslogic OEM S-81. [25]

Ethernet kommutaatorina võeti kasutusele AdvanTech EKI-7710G-2CPI, millel on ülikoore taastumisaeg 20ms, mis tagab roboti stabiilse töö. [26] (Pilt 3.9.)



Pilt 3.9 AdvanTech EKI-7710G-2CPI. [26]

Servi kontrollerid ja ajamid valiti firma Advanced Motion Controls kataloogidest, sest neil on rohkem kui 30 aastat kogemust *motion control* tööstuses [30] ja olemas antud lahenduse jaoks sobivad komponendid. Servokontrolleriks võeti MACC02 [27], servoajamiks FE060-25-EM [28] ja I/O plaadiks MACCIO1 [29]. Servokontrollereid on süsteemis 4 tükki, servoajameid 20 tükki ja I/O plaate kõikide vajalike komponentide ühendamiseks 4 tükki.

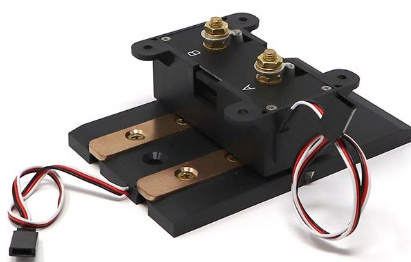
3.4 Aku ja laadimise lahendus

Liitium akude jaoks on robotis kaks eraldiseisvat ala kahes roboti otsas mõõtudega 350 x 900 x 80 mm. Akude otsimisel oli eesmärgiks maksimeerida sellesse ruumi mahtuvat Ah arvu. Valitud mudel peab vastu pidama vähemalt kolm aastat ning robot peab saama täislaetud akuga töötada vähemalt 30 minutit.

Akumooduliks valiti Sony US18650VTC6, mis koosneb 18650 tüüpi *cell*-idest. Ühes moodulis on 221 sellist akut umbkaudsete mõõtmetega 315 x 240 x 67 mm. Nominaalseks pingeks on 48.1 V, mis sobib lahendusse. Maksimaalne mahutavus on 51.0 Ah. [31] Robotisse mahub 2000 US18650VTC6 18650 tüüpi *cell*-i.

Arvestades mootorite/aktuaatorite ja sensorite voolutarvet, suudab robot täislaetud akuga töötada umbes tund aega, mis on kaks korda rohkem, kui kliendi poolt tingimusena esitatud nõue. Tegelik voolutarve võib sellest erineda, sest see sõltub ka elektrilistest komponentidest, mida selle töö raames ei käsitleta, kuid võib eeldada, et kuna peamiste voolu tarbivate osadega on siinkohal arvestatud, tuleb reaalne roboti tööaeg täis laetud akuga rohkem kui 30 minutit, seega on kliendipoolne nõue täidetud.

Võeti kasutusse firma Roboteq laadimissüsteem BMS10x0 [32] ja akulaadija RPKIT90-100 [33], sest need on kompaktsed, spetsiaalselt AGV masinatele disainitud ning võimaldavad robotil kergelt ja kiirelt laadimisjaamaga ühendada ja lahti ühendada magnetite abil. Neid müüakse ka koos komplektina RPKIT90-100 koodi all. Robotile on paigaldatud kaks sellist komplekti, mis on laadimisel kasutusel samaaegselt. (Pilt 3.10.) [34]



Pilt 3.10 RPKIT90-100 RoboPad laadimissüsteemi baasi ja kollektori komplekt. [34]

Valitud komponentide põhjal saab paika panna roboti mehaanika. Seda käsitletakse järgnevas peatükis.

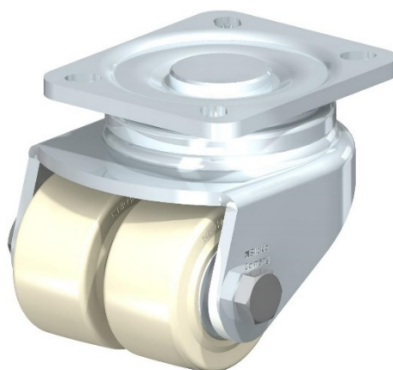
4. ROBOTI MEHAANIKAKONTSEPTSIOON

Roboti mehaanika kõiki aspekte siinkohal ei vaadelda, kuna osa ei kuulu käesoleva töö raames avalikustamisele. Täpsemalt vaadeldakse roboti käppade disaini ja roboti korpust.

4.1 Roboti käppade mehhanismi disain

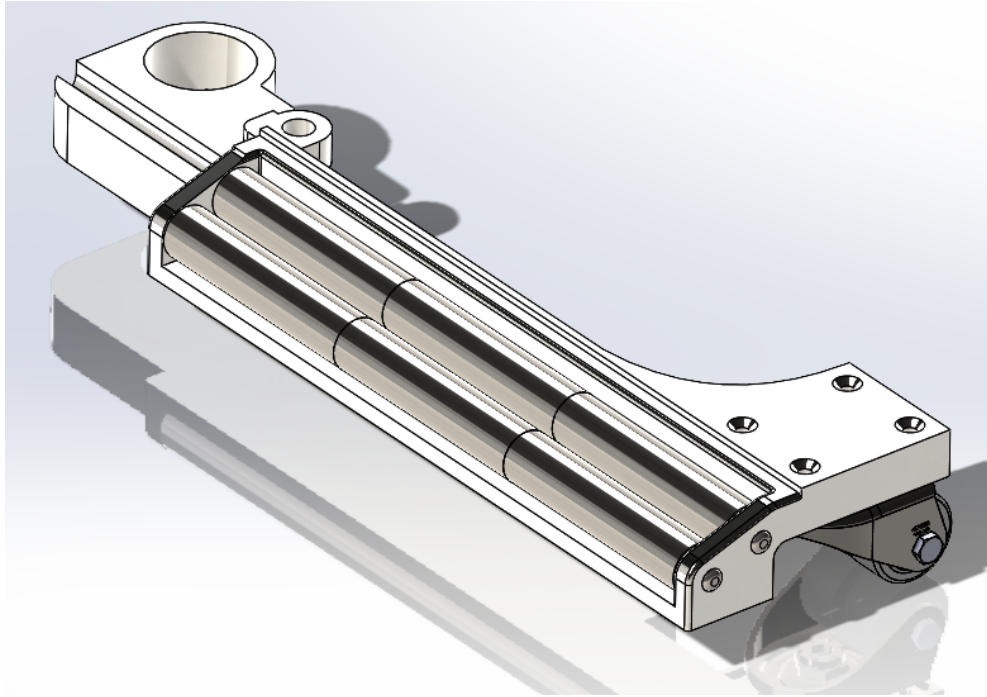
Roboti käppade disainimiseks otsiti esmalt välja sobivad *casters* rattad, mis peaks vastu vähemalt 334 kg koormuse all (kuna transporditava auto maksimaalne mass on 4000 kg ja iga käppade mehhanismi all on kolm vabalt liikuvat ratast). Ratta konstruktsiooni kõrguseks võib olla maksimaalselt 100 mm, sest selle kinnituseks peab ka ruumi jääma.

Ratasteks valiti Blickle LHD-GSPO 60K, mille kõrguseks on 92 mm ja mis suudavad kanda koormust kuni 700 kg. Selline ratas sobib vaid siledapinnalistele aladele, mis on vastavalt ülesande tingimustele sobiv. Rataste materjaliks on löögikindel valatud nailon. (Pilt 4.1.) [35]



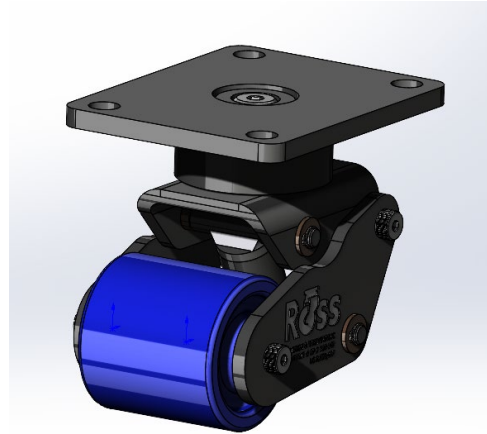
Pilt 4.1 Blickle LHD-GSPO 60K *caster*. [35]

Käpa kuju vormiti komponentide asukohti ja selle tugevust silmas pidades. Disainiti viisil, et käpa välimus oleks efektne ning metalloosa oleks võimalik mitmeteljelise CNC pingiga ühes tükis valmistada. Samuti jälgiti, et koostamine oleks võimalikult lihtne. Esiolgu disaini järgi paigutati kaks kolmest osast rullikut käpa peale üksteise kõrvale jättes nende alla konstruktsiooni jäikuse eesmärgil rullikutest kahel pool paiknevaid seinu ühendav platvorm. Rullikud koosnevad kolmest osast idee tõttu, et kui ratas seisab veidi viltu, siis vastav rulliku osa saab kiiremini pöörelda, kui ülejäanud. Kõige kõrgemaks punktiks käpal on kõrgemamast rullikust tagapool paiknev piire, mille eesmärk on vältida rehvi käpast üle libisemist. (Pilt 4.2)



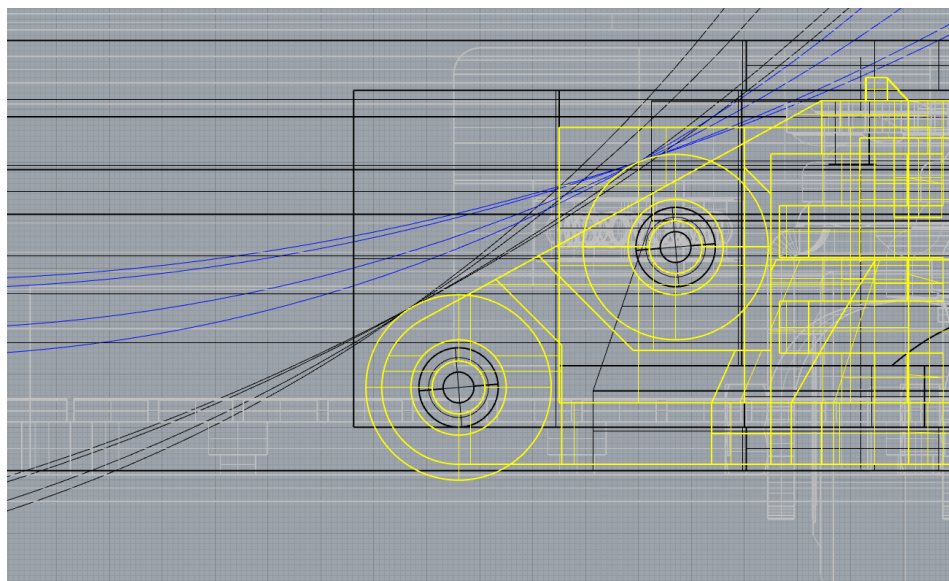
Pilt 4.2 Esialgne roboti käpa disain.

Blickle *casters*-id otsustati välja vahetada vedrustusega rataste vastu, et vähendada põranda võimalike ebatasasuste mõju robotile. Selleks võeti kasutusele firma Ross Design & Engineering poolt spetsiaalse tellimuse järgi tehtud *caster*, mille kogukõrguseks on 100 mm ja mis suudavad kanda koormust kuni 600 kg (pilt 4.3). See on samuti mõeldud sileda pinnaga aladele, kuid peab vastu ka väikestele ebatasasustele, ratta materjaliks on kulumis- ja löögikindel valatud nailon. Vedrustuse on valmistatud kõrge kvaliteediga kroom-vanaadiumist. Otsustati, et kaherattaliste *casters*-ite jaoks pole roboti sümmeetrilisuse ja käppademehhanismi toetavate rataste asukoha tõttu keskpäiga suhtes vajadust, sest ka üherattalistega võimaldavad roboti pööramisraadiust väga väiksena hoida. Samuti võivad parkimisalale sattuda õuest tulnud autode rehvide küljest pudenenud kivikesi, mis kaherattaliste *caster*-ite puhul oleksid võinud rataste vahele kinni jääda. Lisaks võimaldab selliste vedrustusega ratta kasutamine probleemidega üle maksimaalselt viie millimeetri diameetriga kivikeste sõita. Samuti see leevendab olukorda ka teele jääda võivate veidi suuremate kivikeste puhul.



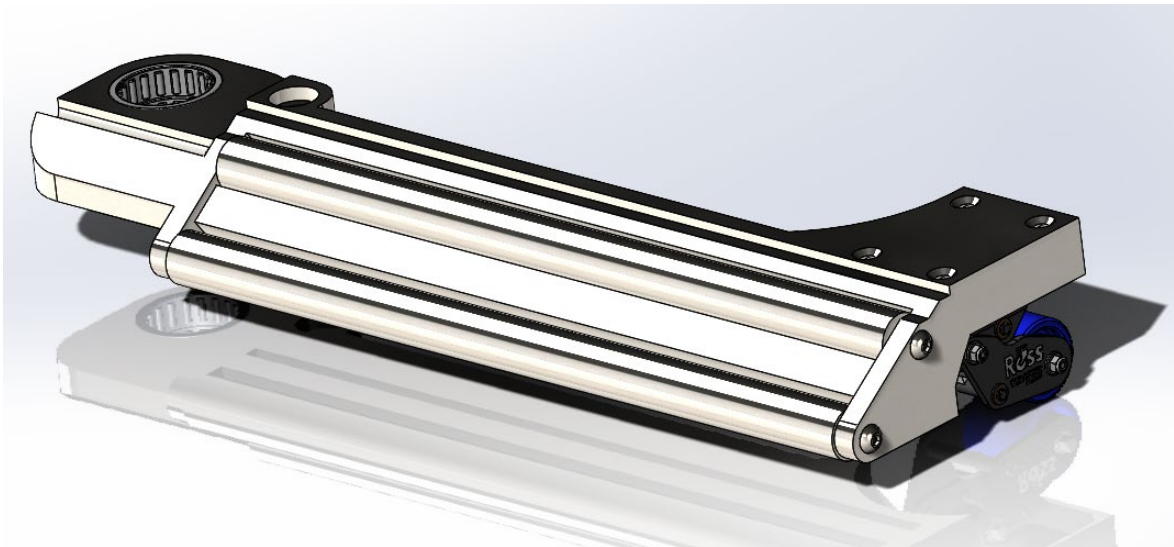
Pilt 4.3 . Ross Design & Engineering *caster*.

Alumine rullik liigutati käpa ja rehvi vahel tekkida võiva hõõrdejõu vältimiseks täiesti äärde, et see oleks esimene kokkupuutepunkt rehviaga. Rullikute ja rehvi toetava piirde (et ratas üle käpa ei libiseks) täpsed mõõtmed ja asukoht pandi paika erinevaid levinuimaid rehvimõõtmeid silmas pidades (joonis 4.1).



Joonis 4.1 Erinevate rehvisuuruste paiknemine käpa rullikute ja toetuspiirde suhtes, kui käpademehhanism on avatud asendis.

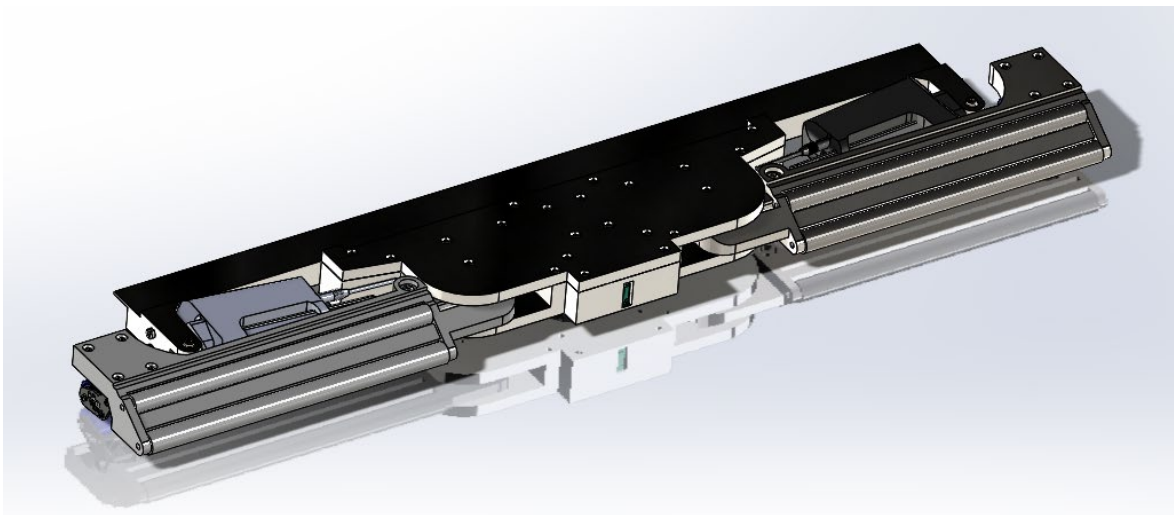
Samuti otsustati kasutada monoliitseid rullikuid, sest need on tugevamad ja vastupidavamad. Lõplik roboti käpa disain on kujutatud pildil 4.4.



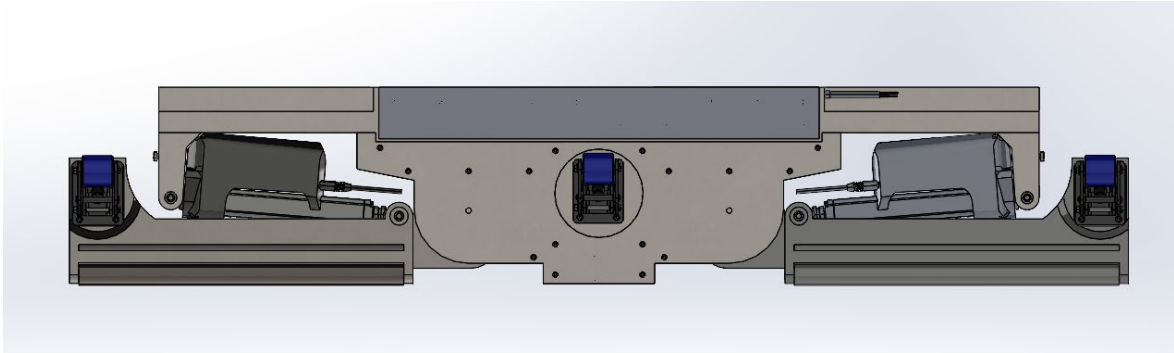
Pilt 4.4 Roboti käpa lõplik disain.

Materjaliks valiti 34CrMo4 teras [16]. Käpa vastupidavust kontrolliti simulatsioonide abil SolidWorksis. Materjali oleks võimalik minimeerida, kuid kliendi soovil on käpp üledimensioneeritud eesmärgiga muuta selle välimus usaldustäratavaks.

Disainiti ülejäänud käppademehhanismi osad, mis siinkohal detailse vaatlemise alla ei kuulu, kuid on näha piltidel 4.5 ja 4.6.



Pilt 4.5 Roboti käppade mehhanism.

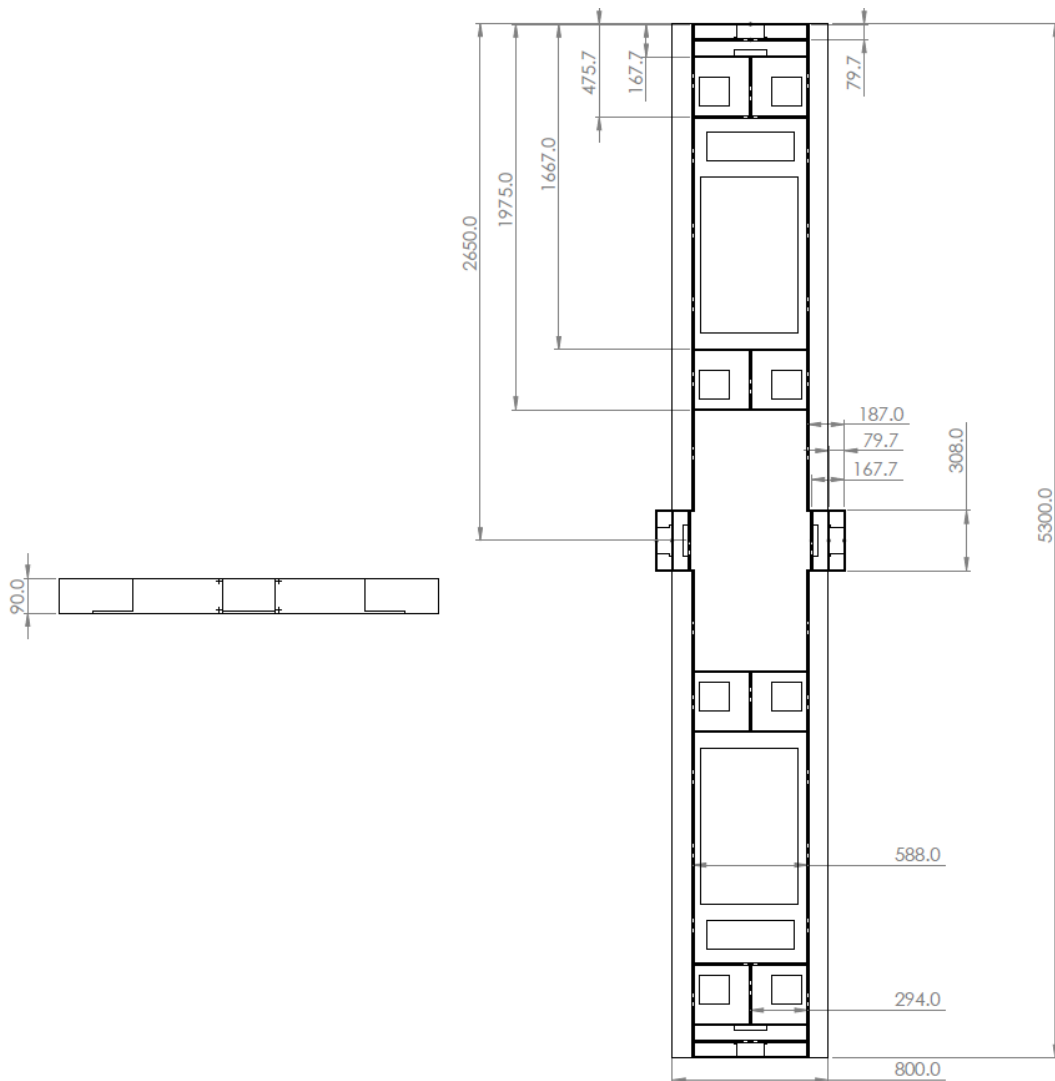


Pilt 4.6 Käppade mehhanism altvaates.

See koosneb DDL mootorist, selle külge kinnituvast konstruktsioonist, millel on silinderaktuaatorite tagumise osa kinnitus ning käppade kinnituskohad, kahest üksteise suhtes peegelpildis käpast ja silinderaktuaatoritest. Käppademehhanismi keskel paikneb koht kaugussensori jaoks. Mehhanism koosneb mitmest metallist osast, kusjuures iga osa on mõeldud mitmeteljelise CNC pingi abil valmistamiseks. Kokku pannakse see poltide abil, keevisliiteid see ei sisalda.

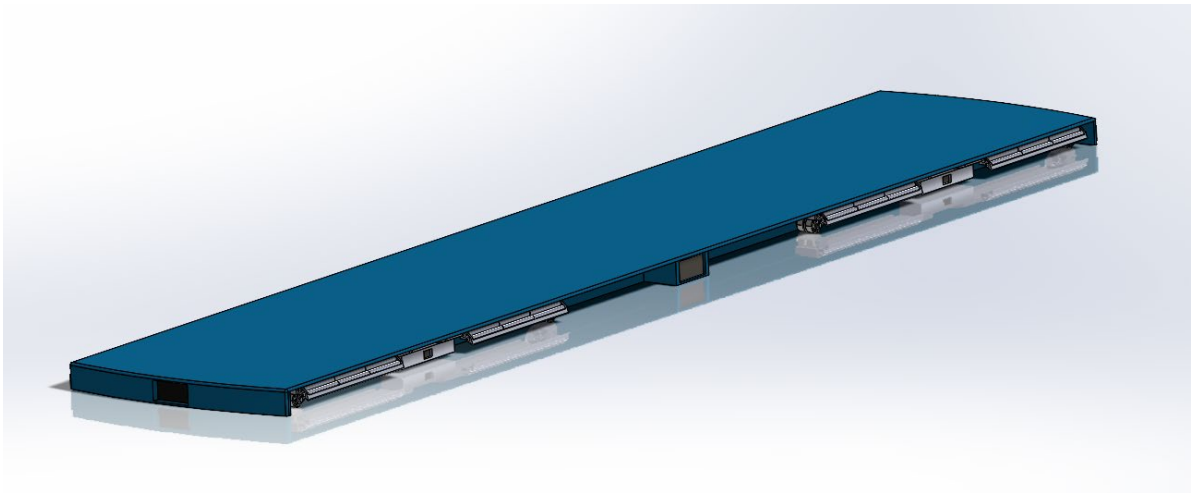
4.2 Roboti korpused

Roboti täpne sisu ei kuulu siinkohal avalikustamisele firma konkurentsivõime säilitamiseks. Roboti korpuse sisemised vaheseinad, mis toetavad korpuse konstruktsiooni muutes seda jäigemaks ja võimaldavad fikseerida robotisse kõik vajalikud komponendid, on näidatud joonisel 4.1. Enamasti kasutatakse S355J2 terasest vaheseinu paksusega on 8 mm, mõnes kohas kasutatakse DIN 1025, Euronorm 53-62, HEB180 S235 terasest valmistatud talasid.



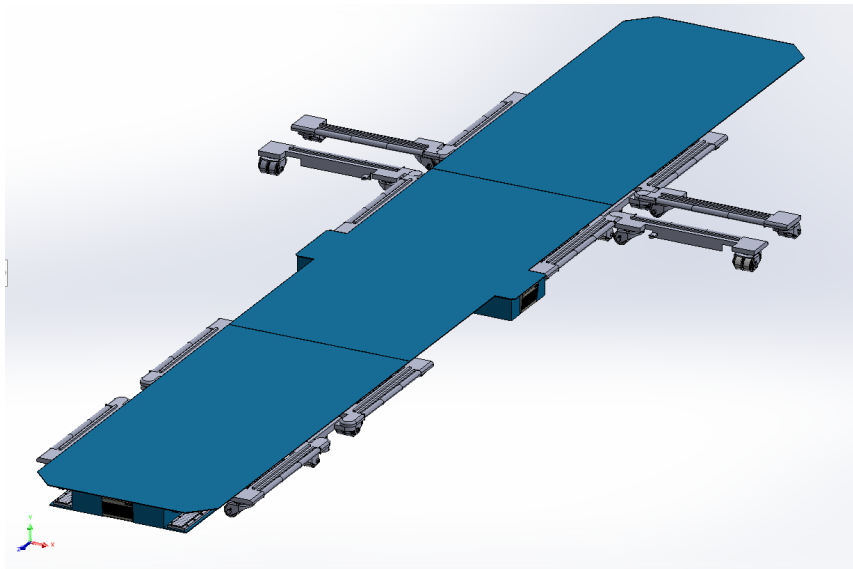
Joonis 4.1 Roboti korpuse vaheseinte asukohad.

Käppademehhanismi liigutava mootori magnetrada paigutati korpuse põhja äärelle ning selle kohale mootori pealtpoolt toetav juhtsiin. Eialgu disainiti korpus minimalistlikult, et paika panna roboti põhikuju (pilt 4.7).



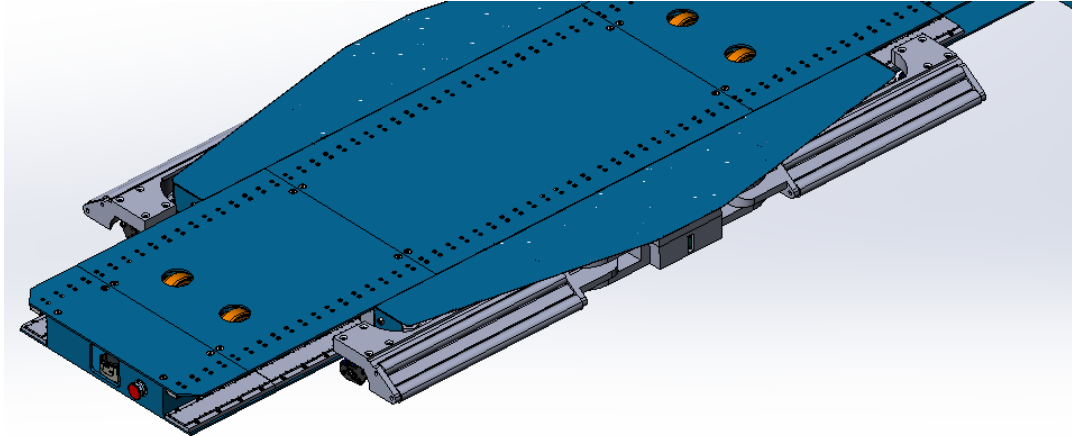
Pilt 4.7 Korpuse disainimise algstaadium.

Kaane kuju muudeti visuaalselt huvitavamaks tuues käppade mehhanism rohkem nähtavale ja kasutades suure raadiusega kumerate kontuuride asemel nurgelisemaid (pilt 4.8).



Pilt 4.8 Korpuse kuju muutmine.

Liiga ristküliku laadse kuju vältimiseks disainiti käppade mehhanismi keskosa katvad ja nendega kaasa liikuvad „tiivad“, mis muudavad roboti välimuse huvitavamaks (pilt 4.9).

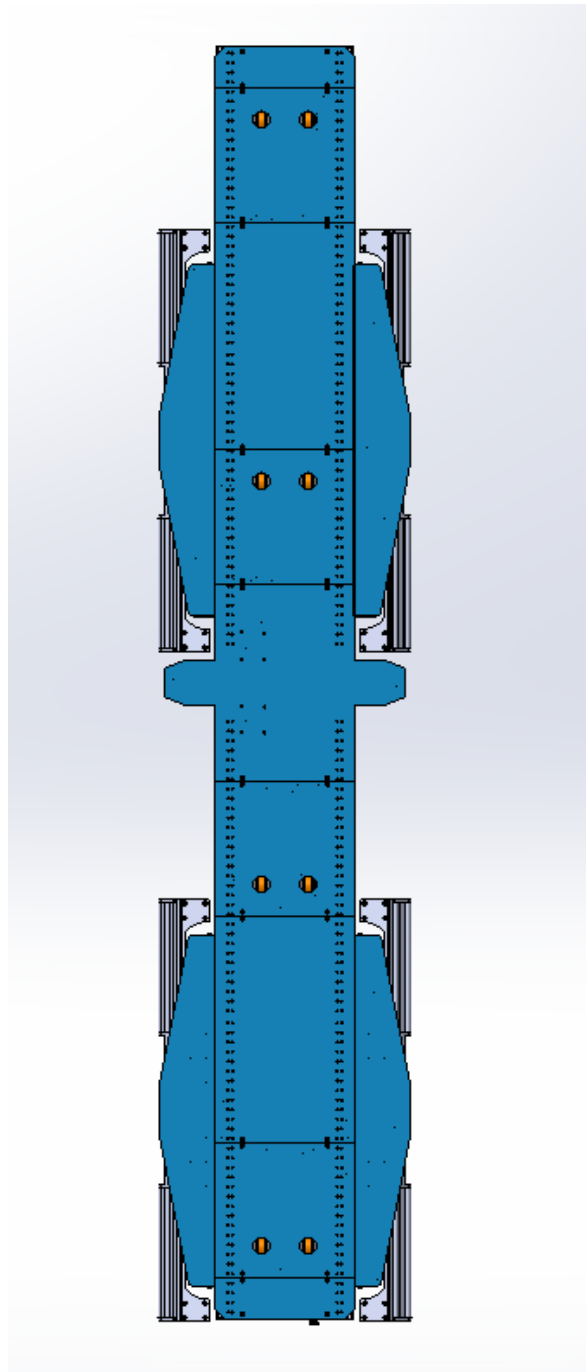


Pilt 4.9 Liigutatava kaaneosaga käppade mehhanism.

Korpuse kergemaks tootmiseks ja detailide transportimiseks jaotatakse see väiksemateks osadeks maksimeerides samasuguste detailide arvu, et tootmiskulusid saaks madalamal hoida. Näiteks korpuse kaas koosneb viiest erinevast detailist: 1 tk keskosa plaat, 4 tk rataste avadega plaadid, 2 tk ristkülikukujulised plaadid, 4 tk roboti „tiibade“ plaati ja 2 tk otsaplaati. (Pilt 4.8.)

Poltidena kasutatakse roboti konstruktsioonis firma BalticBolt ISO10642 M4x12 ja ISO10642 M8x20. [35]

Projekteeritud roboti lõplikud mõõtmed on suletud käppadega 530 x 104.62 x 12 cm (avatud käppadega laius 212.1 cm) ning see saab transportida autosid, mille teljevahe on vahemikus 185 ... 450 cm ja esirataste rööbe pikkus on vahemikus 105 ... 210 cm. Seega on kõik gabariidid ülesandes seatud tingimustele vastavad.

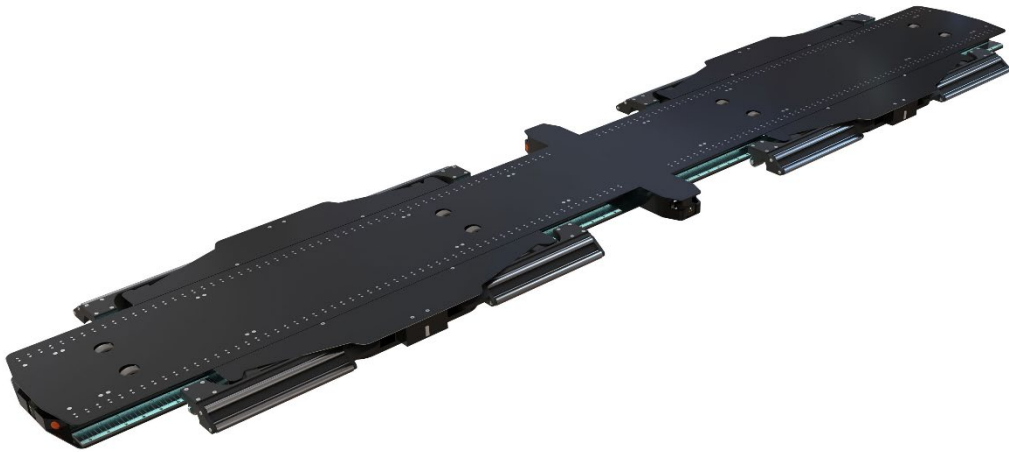


Pilt 4.8 Korpuse lõplik kuju pealtvaates.

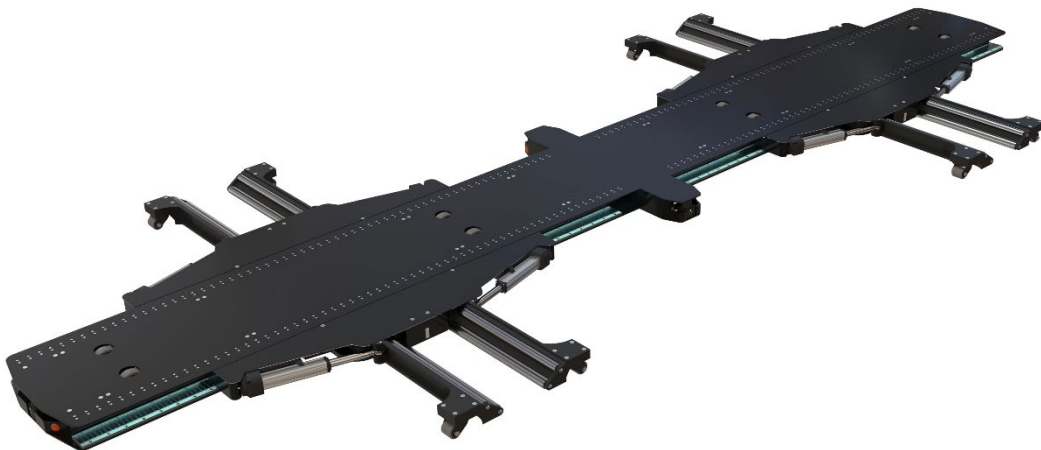
Roboti kõik mehhaanilised metallist osad, millele ei mõju otsest koormust on disainitud olema S355J2 terasest. Detailid, millele mõjub koormus, on tugevamast 34CrMo4 terasest. Korpuses kasutatud HEB180 talade puhul kasutatakse S235 terast. Elektriliste komponentide jaoks rakendatakse vaskkaableid, sest need on võrreldes alumiiniumist kaablitega vastupidavamad. [16] Korpuse värvimiseks kasutatakse polüuretaanvärvi, sest see on tööstuslikes tingimustes väga hea jätkusutlikkusega, kõrge korrosioonivastase kaitsega ja inimsõbralik. [36]

4.3 CAD mudel

Piltidel 4.10 ja 4.11 on kujutatud lõplik selle töö eesmärkide mahus projekteeritud robot. Roboti „tiibade“ kuju muudeti atraktiivsemaks. Efektsuse eesmärgil lisati roboti külgedele LED valgustus.



Pilt 4.10 Roboti CAD mudel suletud käppadega.



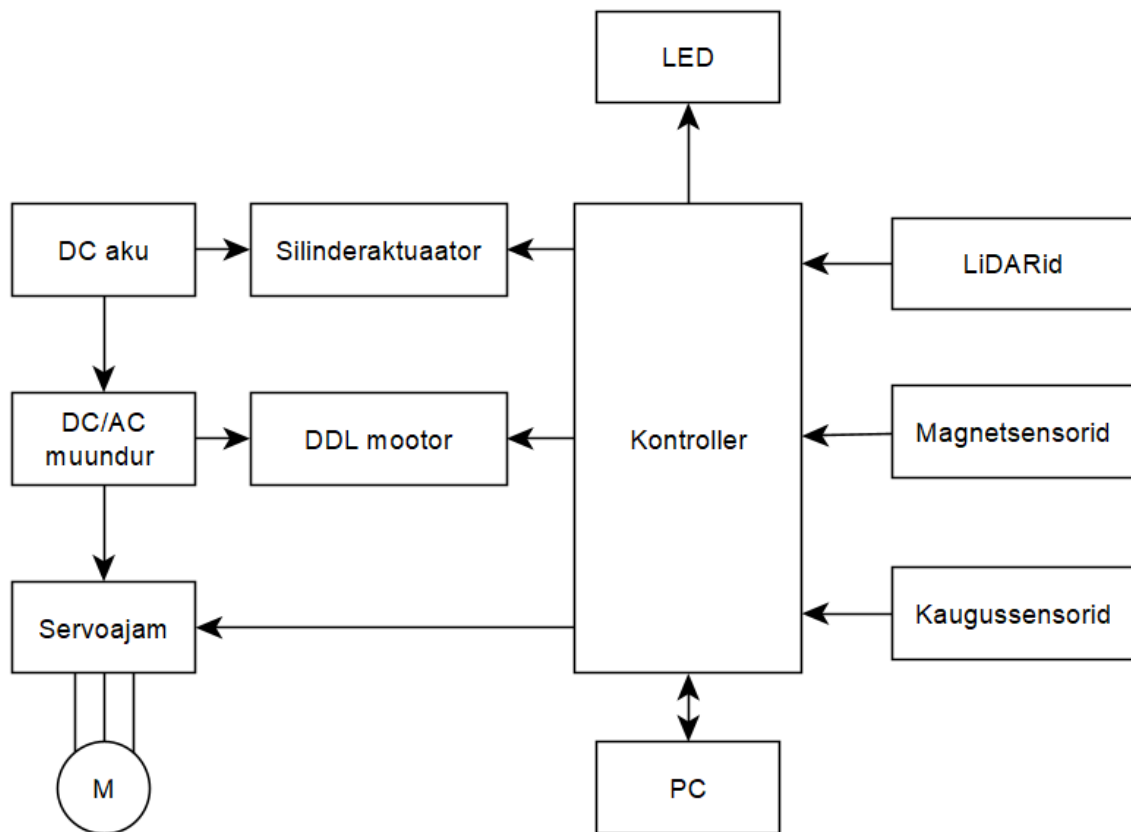
Pilt 4.11 Roboti CAD mudel avatud käppadega.

Roboti mehaanika ja peamised komponendid on seega paigas. Järgnevates peatükkides kirjeldatakse elektriosa ja tööpõhimõtet.

5. ELEKTRILINE PLOKKSKEEM

Roboti täielik elektriskeem ei kuulu käesoleva töö raamesse. Järgnevalt kirjeldatakse peamiste eelnevalt käsitletud komponentide elektrilist plokkkeemi. Elektriosa kõige keerulisemaks osaks on sobiva DC/AC inverteri lahenduse leidmine. See on vajalik, kuna kasutatavad Kollmorgeni mootorid on AC, sest sobivate mõõtmetega DC mootoreid sellise võimsusega hetkel teadaolevalt pole saadaval. Sellega kaasneb energiakadu, kuid klient on selle asjaoluga nõus ning eksperdid tegelevad kõige optimaalsema lahenduse otsimisega.

Joonisel 5.1 on kujutatud ülevaatlikku elektrilist plokkkeemi.



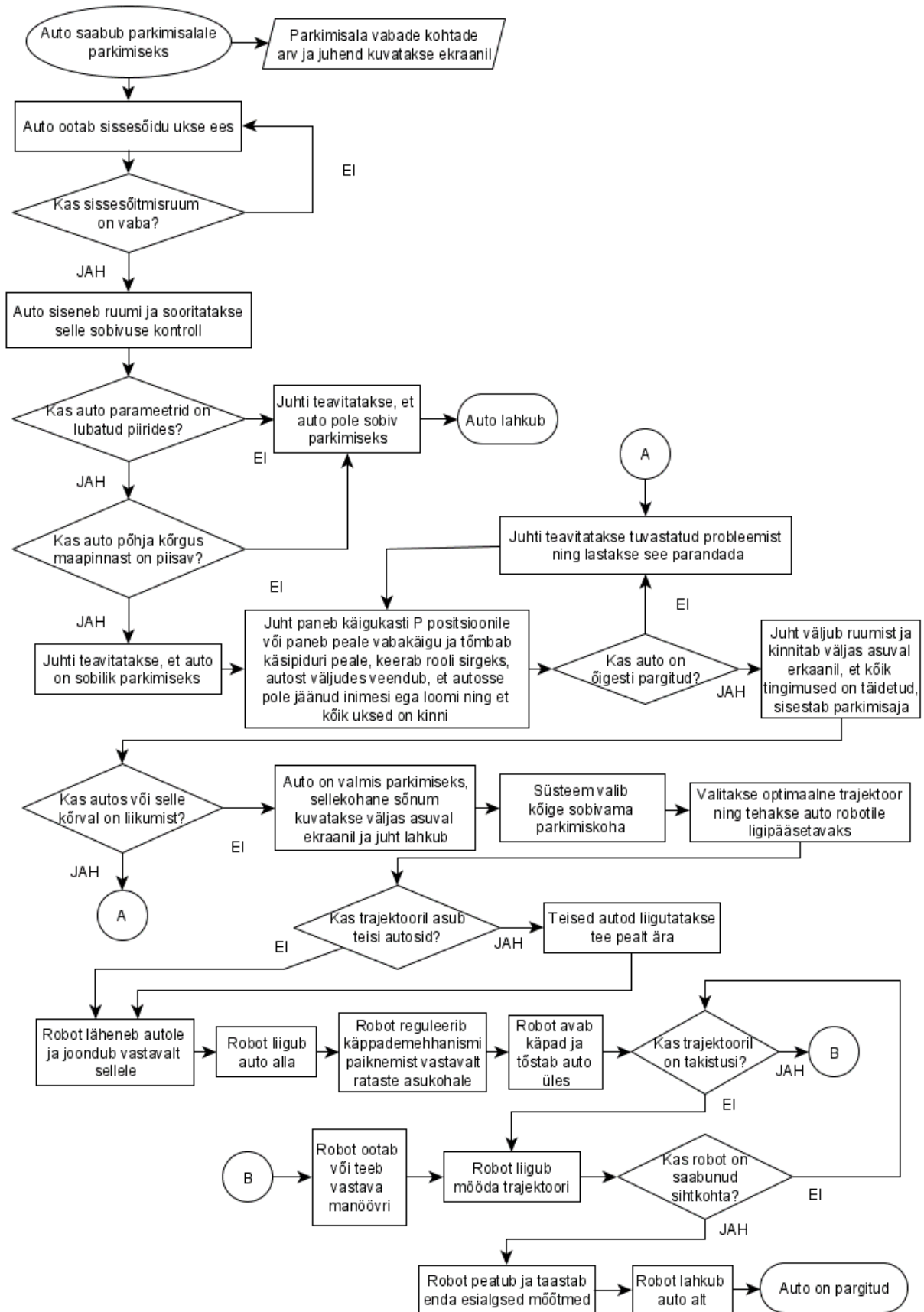
Joonis 5.1 Ülevaatlik roboti elektriline plokkkeem.

6. ROBOTI JUHTIMISSÜSTEEMI JA VAJALIKE TÖÖTINGIMUSTE KIRJELDUS

Parkimisroboti programmeerimine ei kuulu käesoleva töö raamesse, kuid järgnevalt kirjeldatakse selle tööpõhimõtet ja üldiseid selle korrektseks funktsioneerimiseks vajalikke töötingimusi.

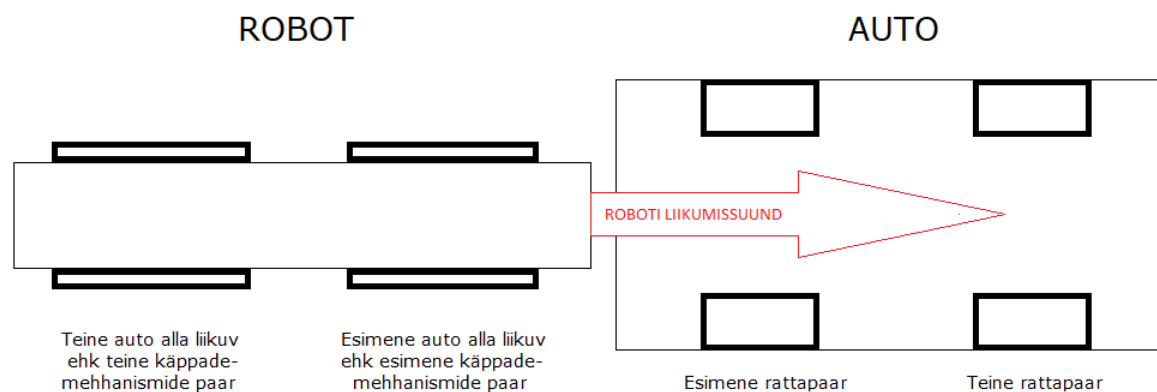
6.1 Algoritm

Joonisel 6.1 on toodud auto parkimise protsess parkimisrobotit kasutades.



Joonis 6.1 Auto parkimine parkimisrobotiga.

Roboti käppademehhanismid asuvad autole lähenedes algolekus ehk vastavate magnetradade keskel. Parkimisroboti töö kiirendamise eesmärgil võib sellele ennetavalt saata auto sissesõidu ruumis mõõdetud teljevahe ning robot liigutab käppademehhanismid koheselt sümmeetriat säilitades vastavale kaugusele üksteisest. Lidaritest saadud info põhjal joondab robot ennast rataste asukohale vastavalt ning alustab auto alla liikumist. Robot peatub, kui esimesena auto alla liikunud käpapaaride kaugussensorid fikseerivad teise paari rattaid. Juhul, kui miskipärast teisena auto alla liikunud käpapaaride sensorid ei tuvasta vaatamata eelnevalt konkreetse auto teljevahele kohandatud positsioonile vaatamata esimest paari rattaid (mis õigesti teostatud mõõtmise puhul ei tohiks juhtuda), reguleerib robot nende asukohta vastavalt vajadusel DDL mootorit mööda magnetrada käppademehhanisme edasi-tagasi liigutades, kuni sensorid fikseerivad autorataste asukohta. Vaid juhul, kui kõik kaugussensorid on tuvastanud rataste asukohad, avab robot käpad ja tõstab auto üles. Süsteemi poolt valitud parkimiskohale navigeerimine toimib lidaritest ja magnetsensoritest saadud info põhjal. (Pilt 6.1)

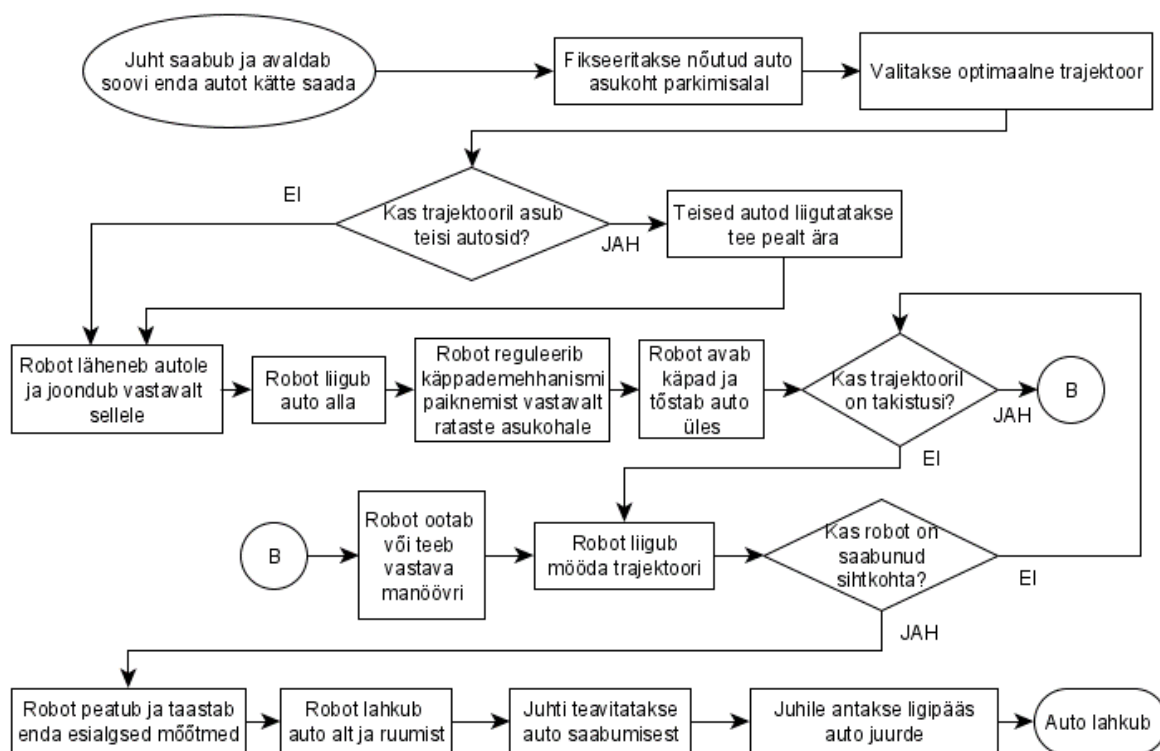


Pilt 6.1 Illustratsioon käppade ja rattapaaride nimetamise selgitamiseks.

Robot võib auto peale võtta ka „pimesi“ ehk eelnevalt ilma sissesõiduruumis mõõdetud teljevahe infota. Sel puhul asuvad kõik käpapaarid auto alla liikudes algolekus. Kui teisena auto alla liikunud käpapaaride kaugussensorid tuvastavad esimesed autorattad enne, kui esimeste käpapaaride andurid teiste autorataste juurde jõuavad, peatub robot sel hetkel ja liigutab esimesi käppademehhanisme edasi kuni tuvastatud saavad ka teised rattad. Juhul, kui esimesed käpapaaride DDL mootorid on jõudnud magnetraja lõppu, kuid teiste rataste asukohta pole ikka veel fikseeritud, siis liigub robot tervikuna edasi kuni see aset leiab. Seejärel liiguvad teine käppademehhanismipaar tagasi, kuni tuvastatakse esimene rattapaar. Analoogete loogika järgi toimib käppademehhanismide positsioneerimine ka olukorras, kui roboti esimesed kaugussensorid tuvastavad teised autorattad esimesena. (Pilt 6.1)

Autost väljudes juht kinnitab ekraanil, et on kõik teinud vastavalt juhenditele ja seega võtab endale vastutuse võimalike sõidukile ning selles asunud esemetele tekitatud vigastuste eest, mis on põhjustatud juhipoolest parkla väärkasutusest (ehk kui näiteks jäeti käsipidur peale panemata). Kui lidarite abil tuvastatakse, et auto on transportimise käigus robotilt maha liikunud mitte roboti algatusel, siis robot peatub ja süsteem teavitab aset leidnud veast koheselt.

Joonisel 6.2 on kirjeldatud auto parkimisalalt kätte saamise protsessi.



Joonis 6.2 Auto kätte saamine parkimisalalt, kus kasutatakse parkimisrobotit.

6.2 Nõuded roboti tööalale

Süsteemi korrektseks funktsioneerimiseks peavad parkimisroboti tööalal olema täidetud järgnevad tingimused:

1. Parkimisala põrand peab olema sile – kalded ei roboti tohi ületada 1% ning kõik vajalikud kalded näiteks vihmavee äravooluks peavad olema roboti põhitrajektoori silmas pidades läbi mõeldud.
2. Enne, kui auto parkimiseks vastu võetakse, peab see läbima mõõtmete ja kaalu kontrolli. Kuna auto mass ei jaotu rataste vahel võrdselt, peab kaalumist teostama iga ratta alt ja veenduma, et see ei ületa 1000 kg.
3. Vajadusel ehk näiteks robotile liigutes pimedaks jäävate nurgataguste puhul peavad vastavatesse kohtadesse paigaldatud olema nende alade kohta robotile infot saatvad mastidele kinnitatud lidarid.
4. Peamistele trajektooridele on tugevalt soovitatav paigutada magnetrajad laiusega 25 mm või 50 mm.
5. Parkimisala suurus peab olema piisav, et robotil oleks võimalik teha vajalikke manöövreid.
6. Parkimisala peab olema puhas prügist ja liigsetest kõrvalistest objektidest.
7. Robotsüsteemi seadistamine peab olema tehtud korrektselt konkreetset tööala silmas pidades.
8. Parkimisroboti tööala temperatuur peab jääma vahemikku -25 kraadi Celsiust kuni 50 kraadi Celsiust.
9. Tööalal ei tohi olla robotit kahjustada võivaid teravaid raskelt tuvastatavaid objekte.
10. Parkimisalale peab olema paigaldatud sobilikud laadimisdokid.
11. Mitmekorruselise parkimismaja puhul peab selles paiknema piisavate mõõtmetega stabiilne ja ohutult autosid parkimisrobotiga transportida võimaldav lift.
12. Ohutuse tagamiseks peab tööalale olema paigutatud märgised, mis hoiatavad sinna sattuda võivaid inimesi töötava(te)st parkimisroboti(te)st.

7. OHUTUSE ANALÜÜS

Projekteeritud roboti ohutust analüüsitakse vastavalt masinadirektiivile 2006/42/EÜ [37].

Loodud parkimisrobot on mõeldud töötama autonoomselt alal, kus ei viibi inimesi. Juhul, kui inimene viibib parkimisalal, on talle roboti poolt võimaliku tehtava kahju minimiseerimiseks ning inimesepoolse mõistliku käitumise puhul elimineerimiseks rakendatud mitmeid meetmeid. Robotil asuvad sensorid fikseerivad ümberkaudseid objekte (sh ka teele sattunud inimese) ning võtab hoo maha, vajadusel peatudes või liikumatu objekti puhul sellest mööda manööverdades. Parkimisrobotil puuduvad teravad osad, mis võiksid inimest vigastada. Lisaks on sellele paigaldatud LED tuled, mis teevad roboti juba kaugelt nähtavaks. AGV maksimaalseks liikumiskiiruseks on 1.3 m/s, mis on võrreldav kiirkõnni kiirusega. Lisaks on tegemist madala, maast vaid 12 cm kõrguse robotiga, seega peatunud või väga aeglaselt liikuva roboti puhul võib olla vaid komistusohu, mille põhjuseks oleks inimese tähelepanematus. Selle vältimiseks peavad parkimisroboti tööalale olema paigutatud hoiatused, mis informeerivad liikuvatest robotitest. Tegelikult on planeeritav roboti välimus silmapaistvam, kui peatükis 4 kujutatud – konfidentsiaalsuse pidi roboti korpusest eemaldama kliendi firma nime, mis on planeeritavalt sinna suurte valgete tähtedega kirjutatud. Samuti piisaks roboti silmatorkavamaks tegemiseks korpusel mõne erksama värvi kasutamisest.

Suurem osa komponente asuvad korpuses ja on ligipääsetavad vaid vastavad kaane osad eemaldades. Kaane eemaldus on üsna lihtne ja vajadusel on seda võimalik üsna kiiresti teha eemaldades neli seda kinnitavat polti. Ohtu võivad kujutada kasutatud liitiumakud, kuid selle vältimiseks paigaldatakse ülelaadimise kaitse. Suurema rikke korral võtab robot hoo maha, peatub ning lülitub välja, kusjuures süsteem teavitab kohe aset leidnud rikkest. AGV küljele on paigutatud suur punane STOPP nupp, mida vajadusel vajutades saab kogu süsteemi manuaalselt välja lülitada. Välispidiselt pole kasutatud ühtegi inimesele ohtlikku materjali. Ohtu võivad kujutada sulguvad roboti käpad, kuhu võib jäse vahele jääda, kuid arvestades eelnevalt kirjeldatud meetmeid ja asjaolu, et käppade liikumine ei toimu niivõrd kiiresti, saab selline õnnetus aset leida vaid sihilikul väärkasutamisel. Lahtiste käppadega sõidab robot vaid autot transportides ning käppade sulgemine leiab aset auto all viibides.

Eelnevast järeldub, et parkimisrobot vastab masinadirektiivis 2006/42/EÜ sätestatud nõuetele ning kujutab endast ohtu vaid selle sihilikul väärkasutamisel.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö tulemusena osaliselt projekteeriti sileda põrandaga parkimisaladel kasutatav autonoomne parkimisrobot, mis vastab kliendi poolt sätestatud nõuetele. Sobiva lahenduse formuleerimiseks vaadeldi analoogseid olemasolevaid AGVsid ning kogutud info alusel pandi paika roboti põhimõtteline kontseptsioon. Seejärel teostati sobivate komponentide valik ja disainiti mehaanika. Töö raames on loodud ka elektriline plokk skeem, kirjeldatud juhtimissüsteemi ja vajalikke töötingimusi. Lõpus teostati roboti ohutuse analüüs.

Kujundati suletud käppadega olekus mõõtmetega 530 x 104.62 x 12 cm monoliitne robot, mis suudab ilma abivahenditeta transportida kuni 3748 kg kaaluvaid autosid, mille teljevahe on vahemikus 185 ... 450 cm ja esirataste rööbe pikkus on vahemikus 105 ... 210 cm. Komponendid valiti tuntud hea kvaliteediga toodanguga tootjate kataloogidest. Kasutatavad sensorid võimaldavad mitmel sellisel robotil ühe ala raames üksteisega arvestades töötada. Välimuse disaini juures arvestati, et AGV näeks efektna välja ning oleks ohutuse eesmärgil silmapaistev. Ohutuse analüüs teostati vastavalt masinadirektiivile 2006/42/EÜ.

Töö raames ei käsitletud detailsemalt elektriosa, sest teadaolevalt pole mõnda vajalikku komponenti turul sobivate parameetritega saadaval ning seetõttu pöördus firma allhanke korras vastavate spetsialistide poole, et välja töötada sobiv süsteem. Samuti ei olnud võimalik teostada majanduslikku analüüsi, sest mitmetele komponentidele pole veel hinnapakkumist saadud ning projekt pole veel tervikuna selleks küps. Käesoleva töö raames ei oleks selle käsitlemisel aga ka piisavat alust, sest puudub info olemasolevate sarnaste lahenduste hindade kohta ning maksumus polnud ülesande tingimustest lähtuvalt olulisel kohal.

Püstitatud eesmärgid on suuremas osas saavutatud, lubatud transportitava auto massi pidi piisavalt võimsate sobivate mõõtmetega usaldusväärsete elektriliste silinderaktuaatorite puudumisel vähendama 3748 kg peale. Klient jäi tulemusega siiski rahule ning loodud kontseptsiooni arendatakse edasi elektrisüsteemi ja programmeerimise osas. Tulevikus on plaanis arendatud parkimisrobotit tootma hakata ja seega võib töö tulemusega igati rahule jääda.

SUMMARY

As a result of this work, an autonomous parking robot for car parks with a smooth floor was partly designed, which meets the requirements set by the customer. In order to formulate a suitable solution, analogous existing AGVs were analysed and based on the collected information, the basic concept of the robot was established. Then, suitable components were selected and the mechanics were designed. Within the framework of the thesis, an electrical block diagram was created, the control system and the necessary working conditions were described. Finally, a robot safety analysis was performed.

A monolithic robot with measurements 530 x 105 x 12 cm was developed, which can without aids transport cars weighing up to 3748 kg with wheelbase between 185... 450 cm and wheel track length between 105... 210 cm. The components were selected from the catalogues of well-known manufacturers with good quality products. The sensors used allow several such robots to work and cooperate within the same area. The design of the appearance was done keeping in mind that the AGV would look impressive and stand out for safety. The safety analysis was performed in accordance with the Machinery Directive 2006/42/EC.

The electrical part was not discussed in more detail, as some of the required components are not available on the market with suitable parameters and therefore the company outsourced a task to relevant specialists to develop a suitable system. It was also not possible to carry out an economic analysis, as several components have not yet been quoted and the project as a whole is not yet mature. In the framework of this thesis, however, there would not be a sufficient basis for presenting it either because there is no information on the prices of the existing similar solutions and the cost was not significant based on the conditions of the task.

For the most part, the set goals have been achieved. The allowed weight of transportable cars had to be lowered to 3748 kg as no more powerful trustworthy cylinder actuators with suitable measurements had been found. The customer still was satisfied with the result and the created concept will be further developed in terms of electrical system and programming. In the future, it is planned to produce the developed parking robot, and thus the result of the work can be considered completely satisfactory.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. What makes a Robotic Parking System more “green” or environmentally friendly? [WWW] <https://www.roboticparking.com/what-makes-a-robotic-parking-system-more-green-or-environmentally-friendly/> (05.05.2020)
2. Function, aesthetics and environment in harmony. Westfalia Parking. [WWW] <https://www.westfaliaparking.com/benefits/> (05.05.2020)
3. APS Benefits. Skyline Parking. [WWW] <https://skyline-parking.com/automated-parking-systems/aps-benefits/> (05.05.2020)
4. Stanley-Robotics. [WWW] <https://stanley-robotics.com/> (11.05.2020)
5. Technology. Stanley Robotics. [WWW] <https://stanley-robotics.com/tech-new/> (11.05.2020)
6. Meet the RAY™ parking robot. Serva Transport Systems. [WWW] <https://serva-ts.com/en/parking/meet-ray/> (11.05.2020)
7. Automated Parking Garage Robots. Trendhunter. [WWW] <https://www.trendhunter.com/trends/hikvision-parking-robot> (11.05.2020)
8. Smart parking Industry Solutions. Hikrobot. [WWW] <https://en.hikrobotics.com/robot/robotplaninfo.htm?type=546&oid=1598> (11.05.2020)
9. Hello GETA. Yeefung. [WWW] <https://www.yeefung.com/en/index.php?s=/index/about/fid/125.html> (11.05.2020)
10. Automatic Car Parking Systems. Westfalia Parking. [WWW] <https://www.westfaliaparking.com/parking-systems/> (11.05.2020)
11. Parking Solutions. U-tron. [WWW] <https://www.utron-parking.com/solutions/> (11.05.2020)
12. AGV Automated Guided Vehicles types of Battery. [WWW] <https://www.agvnetwork.com/agv-types-of-battery> (10.05.2020)
13. How it works. U-tron. [WWW] <https://www.utron-parking.com/how-it-works/> (11.05.2020)
14. Direct Drive Linear. Kollmorgen. [WWW] <https://www.kollmorgen.com/en-us/products/motors/direct-drive/direct-drive-linear/> (12.05.2020)
15. Kinney, Thomas A. (2001). Proximity Sensors Compared: Inductive, Capacitive, Photoelectric and Ultrasonic. Machinedesign. [WWW] <https://www.machinedesign.com/automation-iiot/sensors/article/21831577/proximity-sensors-compared-inductive-capacitive-photoelectric-and-ultrasonic> (12.05.2020)

16. Mehaanikainseneri käsiraamat / üldtoimetaja P. Kulu. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2012.
17. Левятов Д.С. „Расчеты и конструирование деталей машин“ (1985)
18. AKM2G Servo Motor. Kollmorgen. [WWW] <https://www.kollmorgen.com/en-us/products/motors/servo/akm-series/akm2g/akm2g-servo-motor/#Specifications> (12.05.2020)
19. PLQE. Neugart. [WWW] <https://www.neugart.com/en/products/planetary-gearboxes-with-output-shaft/plqe/#PLQE60> (12.05.2020)
20. IC Series Ironcore. Kollmorgen. [WWW] <https://www.kollmorgen.com/en-us/products/motors/direct-drive/direct-drive-linear/ic-series-ironcore/> (12.05.2020)
21. LA36. Linak. [WWW] <https://www.linak.com/products/linear-actuators/la36/> (12.05.2020)
22. 2D LiDAR sensors TiM7xx / Outdoor. Sick. [WWW] <https://www.sick.com/de/en/detection-and-ranging-solutions/2d-lidar-sensors/tim7xx/tim781-2174101/p/p594148> (13.05.2020)
23. MGS1600GY. Roboteq. [WWW] <https://www.roboteq.com/products/navigation-sensors/line-following-sensors/mgs-magnetic-guide-sensors/mgs1600cgy-magnetic-sensor-with-gyroscope-detail> (13.06.2020)
24. Ultrasonic sensor UB800-F12P-EP-V15. Pepperl+Fuchs. [WWW] https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid_186.htm?view=productdetails&prodid=38369n (13.06.2020)
25. Embedded Computer OEM S-81. Syslogic. [WWW] <https://www.syslogic.de/eng/embedded-computer-compact-8-oem-84313.shtml> (15.05.2020)
26. EKI-7710G-2CPI. Advantech. [WWW] https://www.advantech.com/products/gf-2vuoh/eki-7710g-2cpi/mod_7d08a709-ba0a-4de2-aa58-e85a77f69582 (15.05.2020)
27. MACC02. Advanced Motion Controls. [WWW] <https://www.a-m-c.com/product/macc02/> (15.05.2020)
28. FE060-25-EM. Advanced Motion Controls. [WWW] <https://www.a-m-c.com/product/fe060-25-em/> (15.05.2020)
29. MACCIO1. Advanced Motion Controls. [WWW] <https://www.a-m-c.com/product/maccio1/> (15.05.2020)
30. Experience. Advanced Motion Controls. [WWW] <https://www.a-m-c.com/experience/> (15.05.2020)

31. 13S17P 48.1v 51Ah Battery Pack 54.6v 300A 51000mAh Sony US18650VTC6 Li-Ion Battery Pack for AGV EVs. Greatpow. [WWW] <https://greatpow.com/product/13s17p-48-1v-51ah-battery-pack-54-6v-300a-51000mah-sony-us18650vtc6-li-ion-battery-pack-for-agv-evs/> (15.05.2020)
32. Battery Management Systems. Roboteq. [WWW] <https://www.roboteq.com/all-products/battery-management-systems> (15.05.2020)
33. Robopads Charge System. Roboteq. [WWW] <https://www.roboteq.com/products/power-managment/products-robopads-charge-system> (15.05.2020)
34. LHD-GSPO 60K. Blickle. [WWW] <https://www.blickle.com/product/LHD-GSPO-60K-754586> (18.05.2020)
35. Baltic Bolt. [WWW] <https://www.balticbolt.ee/> (18.05.2020)
36. Agosta, M. (2005). Polyurethane Technology. Coatings World. [WWW] https://www.coatingsworld.com/issues/2002-06/view_features/polyurethane-technology/ (18.05.2020)
37. CE marking. Euroopa Komisjon. [WWW] https://ec.europa.eu/growth/single-market/ce-marking_et (19.05.2020)
38. Ильдар, К. Теоретическая механика. [WWW] <http://www.teoretmech.ru/> (19.05.2020)

LISAD

Lisa 1 Disaineri loodud visuaalid parkimisrobotist





Lisa 2 Kollmorgen mootori AKM2G tehnilised andmed

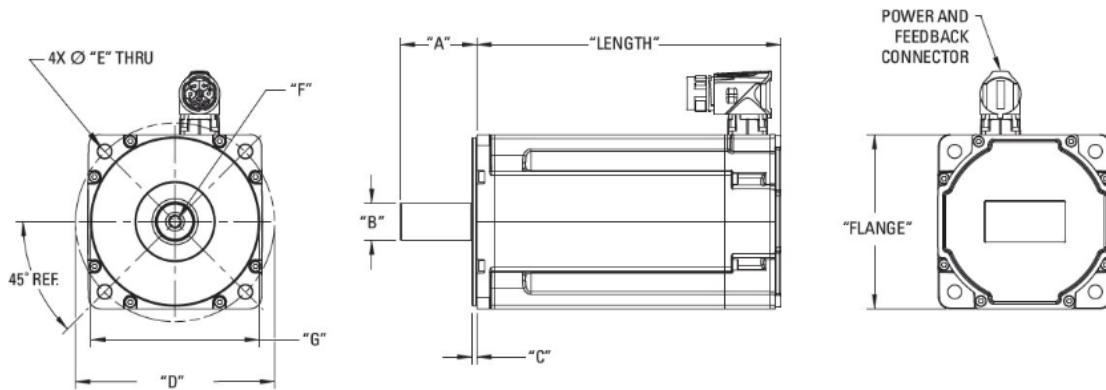
AKM2G Performance Data (by frame size)

Parameter	Sym	Unit	AKM2G-2x					AKM2G-3x					AKM2G-4x				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Continuous Torque at Stall	T_c	Nm	0.65	1.12	1.51	1.85	-	1.70	2.90	3.86	-	2.87	5.12	6.98	8.51	-	
Rated Speed	N_{rtd}	rpm	8000	8000	8000	8000	-	8000	7600	8000	-	6000	6000	6000	5400	-	
Rotor Inertia	J_n	kg-cm ²	0.0930	0.1549	0.2169	0.2789	-	0.4264	0.8130	1.200	-	0.774	1.36	1.95	2.53	-	

Parameter	Sym	Unit	AKM2G-5x					AKM2G-6x					AKM2G-7x				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Continuous Torque at Stall	T_c	Nm	6.83	12.0	16.2	20.1	-	15.3	21.5	27.0	32.7	23.0	41.1	57.8	72.1	-	
Rated Speed	N_{rtd}	rpm	6000	5600	5100	4800	-	5000	4500	4200	3800	4900	3400	3200	3000	-	
Rotor Inertia	J_n	kg-cm ²	2.52	4.58	6.64	8.70	-	9.10	13.0	16.9	20.8	25.9	46.8	67.7	88.6	-	

Values shown are representative of each model. For exact information, refer to the Selection Guide, Installation manual, or Motioneering and/or our curve generator tools.

AKM2G Dimensional Overview



AKM2G Series	Flange IEC	Length by Stacks					A	Ø B	C	Ø D	Ø E	F	Ø G
		1	2	3	4	5							
AKM2G2x	58	111	130	149	168	-	23.0	11.0	2.50	63.0	5.5	M4 DIN 332	40.0
AKM2G3x	72	121	153	184	-	-	30.0	14.0	2.50	75.0	5.5	M5 DIN 332	60.0
AKM2G4x	88	125	151	177	203	-	40.0	19.0	3.00	100.0	6.6	M6 DIN 332	80.0
AKM2G5x	114	143	172	202	231	-	50.0	24.0	3.00	130.0	9.0	M8 DIN 332	110.0
AKM2G6x	142	-	168	190	212	234	58.0	32.0	3.50	165.0	10.19	M12 DIN 332	130.0
AKM2G7x	192	169	203	237	271	-	80.0	38.0	4.00	215.0	13.4	M12 DIN 332	180.0

All values in millimeters. Nominal dimensions shown for resolver and Smart Feedback SFD3 motors of less than 20 amps continuous. See individual motor schematics for tolerances and complete dimensions including other feedbacks and motors rated greater than 20 amps continuous.

[18]

Lisa 3 Neugart reduktori PLE060 tehnilised andmed

Gearbox characteristics

			PLQE060	PLQE080	PLQE120	Stage
Ratios			3, 4, 5, 7, 8, 10			1
			9, 12, 15, 16, 20, 25, 32, 40, 64			2
			60, 80, 100, 120, 160, 200, 256, 320, 512			3
Efficiency at full load	η	%	92 - 98			
Min. operating temperature / Max. operating temperature	T_{min} / T_{max}	°C	-25 / 90			
Protection class			IP54			
Standard backlash	j_t	arcmin	<10 - <15	<7 - <11	<7 - <11	
Torsional stiffness	c_g	Nm / arcmin	2.8 - 3.9	8.5 - 12.3	14.0 - 18.0	
Gearbox weight	m_g	kg	1.1 - 1.5	3.2 - 4.2	6.6 - 10.6	
Running noise	Q_g	dB(A)	58	60	65	

Output shaft loads

			PLQE060	PLQE080	PLQE120
Radial force for 20,000 h / Radial force for 30,000 h	$F_{r 20.000 h} / F_{r 30.000 h}$	N	700 - 900	1700 - 2050	2400 - 2950
Axial force for 20,000 h / Axial force for 30,000 h	$F_{a 20.000 h} / F_{a 30.000 h}$	N	800 - 1000	2000 - 2500	2100 - 2500
Tilting moment for 20,000 h	$M_{K 20.000 h}$	Nm	37	101	232

Moment of inertia

			PLQE060	PLQE080	PLQE120
Mass moment of inertia	J	kgcm ²	0.066 - 0.142	0.365 - 0.783	1.381 - 2.393

Output torques

			PLQE060	PLQE080	PLQE120	Stage
Nominal output torque	T_{2N}	Nm	15 - 40	38 - 115	95 - 195	1
			18 - 44	50 - 130	120 - 260	2
			18 - 44	50 - 120	120 - 260	3
Max. output torque	T_{2max}	Nm	24 - 64	61 - 184	152 - 312	1
			29 - 70	80 - 208	192 - 416	2
			29 - 70	80 - 192	192 - 416	3
Emergency stop torque	T_{2stop}	Nm	66 - 88	178 - 240	340 - 520	1
			80 - 88	190 - 260	380 - 520	2
			80 - 88	190 - 240	380 - 520	3

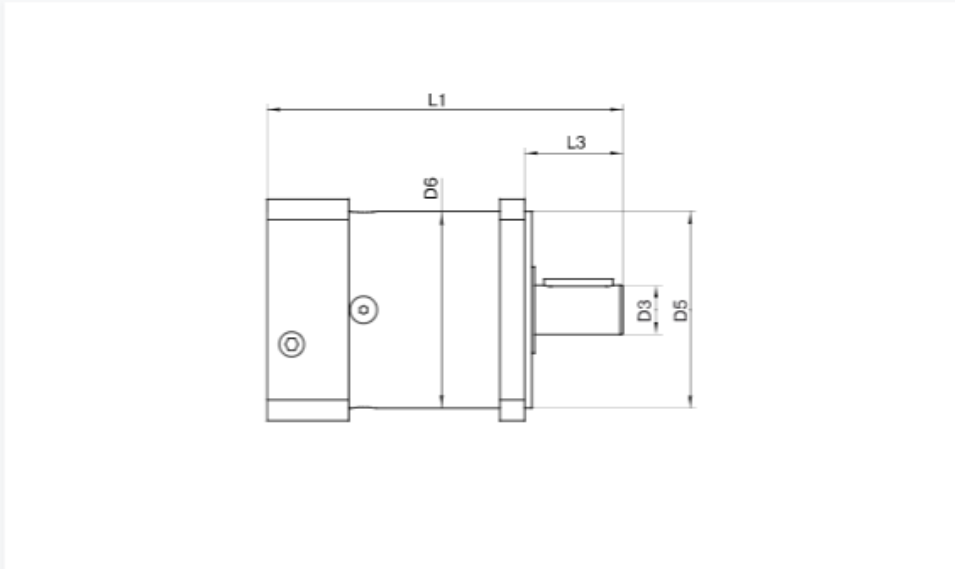
Input speeds

			PLQE060	PLQE080	PLQE120
Average thermal input speed at T_{2N} and S1	n_{1N}	min ⁻¹	4200 - 4500	2350 - 4000	2500 - 3500
Max. mechanical input speed	n_{1Limit}	min ⁻¹	13000	7000	6500

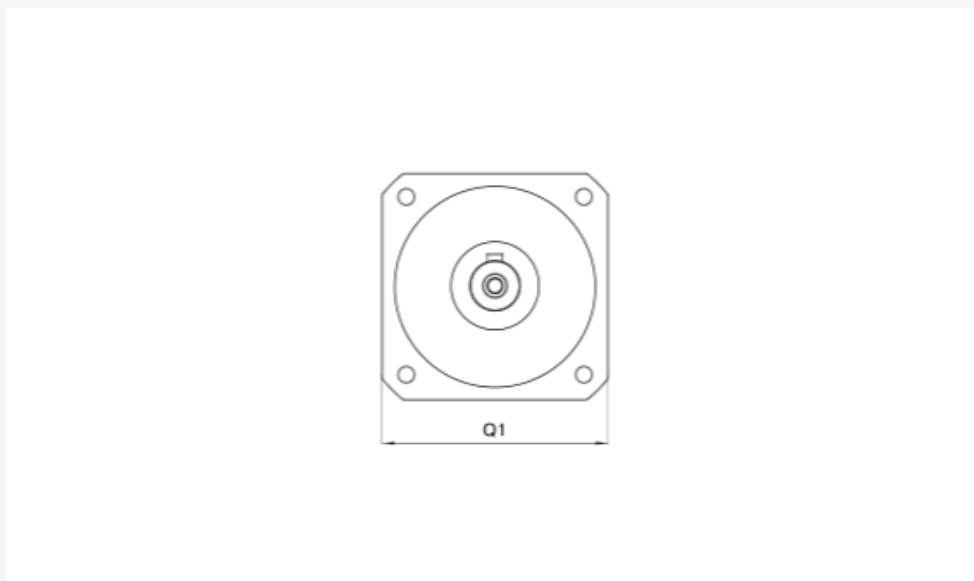
Geometry

			PLQE060	PLQE080	PLQE120	Stage
Shaft diameter output	D3	mm	16	20	25	
Centering diameter output	D5	mm	60	80	110	
Housing diameter	D6	mm	60	80	115	
Flange cross section output	Q1	mm	70	90	115	
Total length	L1	mm	111.0	145.0	201.5	1
			123.5	162.5	229.5	2
			136.0	180.0	257.0	3
Shaft length output	L3	mm	32	40	55	

Technical Drawings



Technical Drawings



[19]

Lisa 4 Kollmorgen mootori IC44-050A3AC tehnilised andmed

IC44 Performance Data

Ironcore Non-Cooled Motors Series

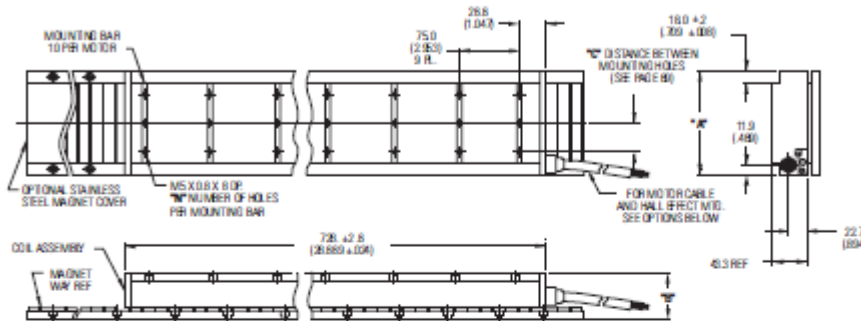
Rated Performance	Symbol	Units	IC44-030				IC44-050				IC44-075			
Peak Force	Fp	N	1259				2096				3144			
		lbf	283				471				707			
Continuous Force @ Tmax (1)	Fc	N	560				1053				1651			
		lbf	126				237				371			
Motor Constant @ 25°C	Km	N/√W	44.3				63.3				82.4			
Electrical Specifications (2)														
		Winding Code	A1	A2	A3	A7	A1	A2	A3	A7	A1	A2	A3	A7
Peak Current	Ip	Arms	11.1	22.1	44.1	76.4	11.1	22.1	44.1	76.4	11.1	22.1	44.1	76.4
Continuous Current @Tmax	Ic	Arms	3.9	7.9	15.8	27.3	4.4	8.7	17.4	30.2	4.6	9.2	18.3	31.8
Electrical Resistance @ 25°C±10%	Rm	Ohms L-L	7.8	2.0	0.49	0.16	10.6	2.7	0.66	0.22	14.1	3.5	0.88	0.29
Electrical Inductance ±20%	L	mH L-L	66.8	16.7	4.2	1.4	107	26.7	6.7	2.2	158	39.4	9.9	3.3
Back EMF Constant @25°C±10%	Ke	Vpeak/m/s L-L	123	61.7	30.9	17.8	206	103	51.4	29.7	308	154	77.1	44.5
		Vpeak/in/sec L-L	3.14	1.57	0.78	0.45	5.22	2.61	1.31	0.75	7.83	3.92	1.96	1.13
Force Constant @ 25°C±10%	Kf	N/Arms	151	75.6	37.8	21.8	252	126	63.0	36.3	378	189	94.4	54.5
		lbf/Arms	34.0	17.0	8.5	4.9	56.6	28.3	14.2	8.2	84.9	42.5	21.2	12.3
Mechanical Specifications														
Coil Assembly Weight ±15%	Mc	kg	9.6				13.9				19.2			
		lbs	21.2				30.6				42.3			
Magnetic Way Type			MC030				MC050				MC075			
Magnetic Way Weight ±15%	Mw	kg/m	5.4				7.5				10.1			
		lbs/in	0.30				0.42				0.56			
Figures of Merit and Additional Data														
Electrical Time Constant	Te	ms	8.6				10.1				11.2			
Max.Theoretical Acceleration(3)	Amax	g's	15.9				18.3				19.9			
Magnetic Attraction	Fa	kN	5.9				9.8				14.7			
		lbf	1322				2203				3305			
Thermal Resistance (4) (coils to external structure)	Rth	°C/Watt	0.41				0.25				0.17			
Max. Allowable Coil Temp. (4)	Tmax	°C	130				130				130			

Notes:

1. The motor continuous rated force is measured with the motor coils achieving the motor maximum allowable temperature Tmax.
2. Alternate windings can be made available. Please consult the Kollmorgen Customer Support for design options.
3. Maximum theoretical acceleration is based on the motors peak force and the motor mass alone. Limitations due to such factors as the additional mass of the load, the bearing type and design, the shock rating of the feedback, the peak current available from the amplifier etc. must be considered to determine the achievable acceleration in each application.
4. Please see our application sizing pages in the back of this guide for more details on sizing and thermal considerations.

IC44 Series Outline Drawings

Ironcore Non-Cooled Motors Series

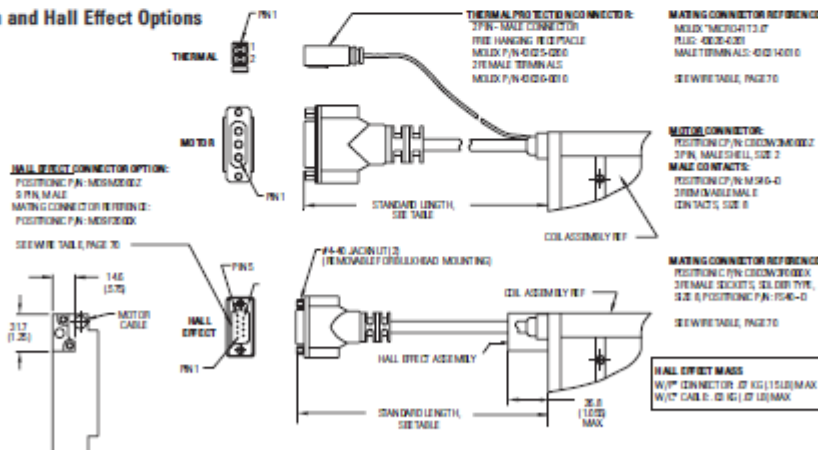


Resultant airgap = 0.9mm (.036) nominal (0.5mm (.020") minimum) when components are set up to dimension "B" in table below. (Please refer to installation manual for more detail)

Motor Coil Type	Coil Width "A"	Non-Cooled	Dim "B"		# Holes "N"
			without Cover	w/ Magnet Cover	
IC44-030	65.0 (2.559) ± 1.0 (.04)	ICXX-030	58.3±0.1 (2.295±.004)	58.6±0.1 (2.307±.004)	2
IC44-050	85.0 (3.346) ± 1.0 (.04)	ICXX-050	58.3±0.1 (2.295±.004)	58.6±0.1 (2.307±.004)	2
IC44-075	110.0 (4.331) ± 1.0 (.04)	ICXX-075	58.3±0.1 (2.295±.004)	58.6±0.1 (2.307±.004)	3
IC44-100	135.0 (5.315) ± 1.0 (.04)	ICXX-100	58.3±0.1 (2.295±.004)	58.6±0.1 (2.307±.004)	3
IC44-150	185.0 (7.283) ± 1.0 (.06)	ICXX-150	60.3±0.1 (2.374±.004)	60.6±0.1 (2.386±.004)	5
IC44-200	235.0 (9.252) ± 1.0 (.06)	ICXX-200	60.3±0.1 (2.374±.004)	60.6±0.1 (2.386±.004)	6

Notes:
 1. Dimensions in mm (inches)
 2. Tolerances unless otherwise specified:
 no decimal place ±0.8 (0.3)
 X decimal place ±0.1 (.004)
 XX decimal place ±0.05 (0.002)

Termination and Hall Effect Options

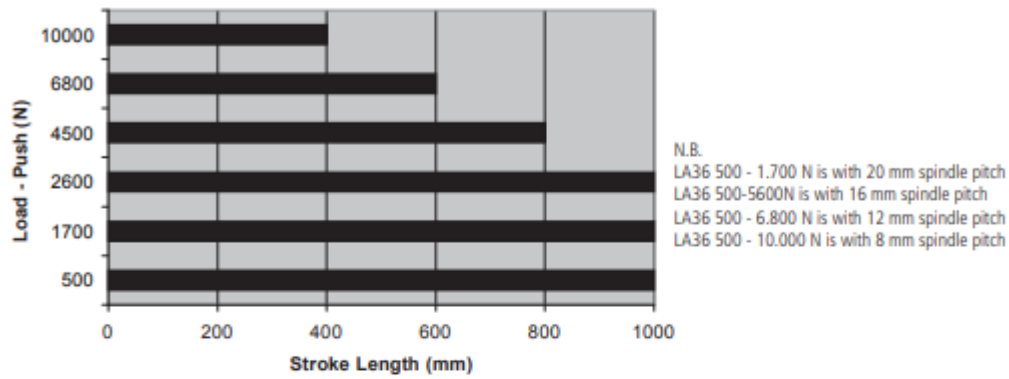


Connector Option		Flying Lead Option	
Connector	Length	Leads	Length
P1	400 (16)	C1	400 (16)
P2	200 (8)	C2	200 (8)
P3	100 (4)	C3	100 (4)
P4	1200 (48)	C4	1200 (48)

Note:
 Cables exiting motor and hall effects are not dynamic flex cables. For high life flex extension cables, see page 72

[20]

LA36 Load versus stroke length



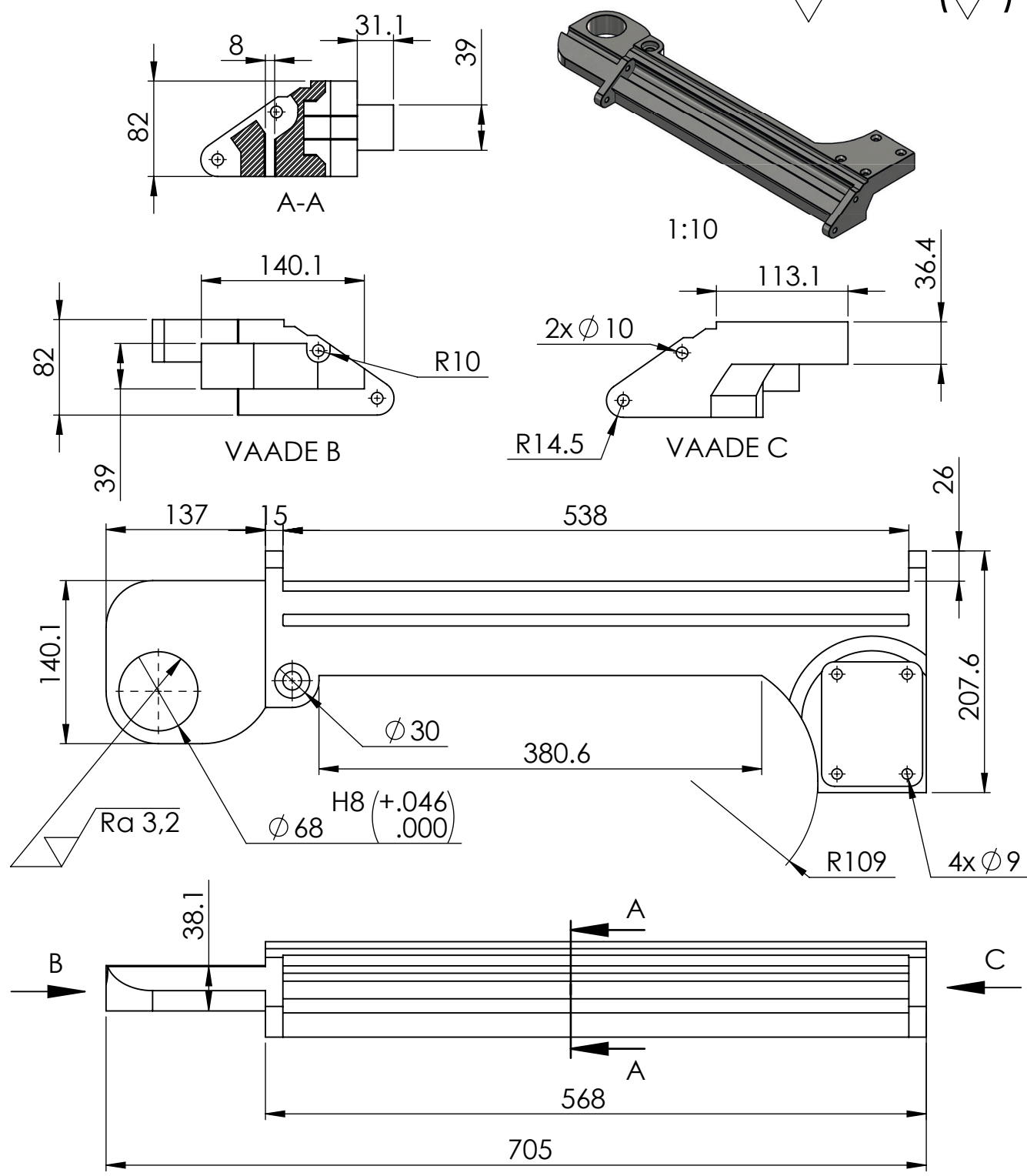
- For applications that only operate in pull the limitations are 999 mm stroke and 10,000 N load.
- Safety factor 2.

Stroke and built-in tolerances

End stop options E.g. 36XXXX+?XXXXXXXX	Descriptions	Stroke tolerance	Example for 200 mm stroke	BID tolerance	Example for 200 mm BID
? = 0	Without endstop switches Mechanical endstop	+/- 2 mm	198 to 202mm	+/- 2mm	198 to 202 mm
? = 1 to 4	With built-in limit switches	+0/-4 mm	196 to 200mm	+/- 4mm	196 to 204 mm
? = 7, 8, 9, A, B, C	Integrated controller Modbus LIN bus CAN bus	+0/-6 mm	194 to 200mm	+/- 4mm	196 to 204 mm

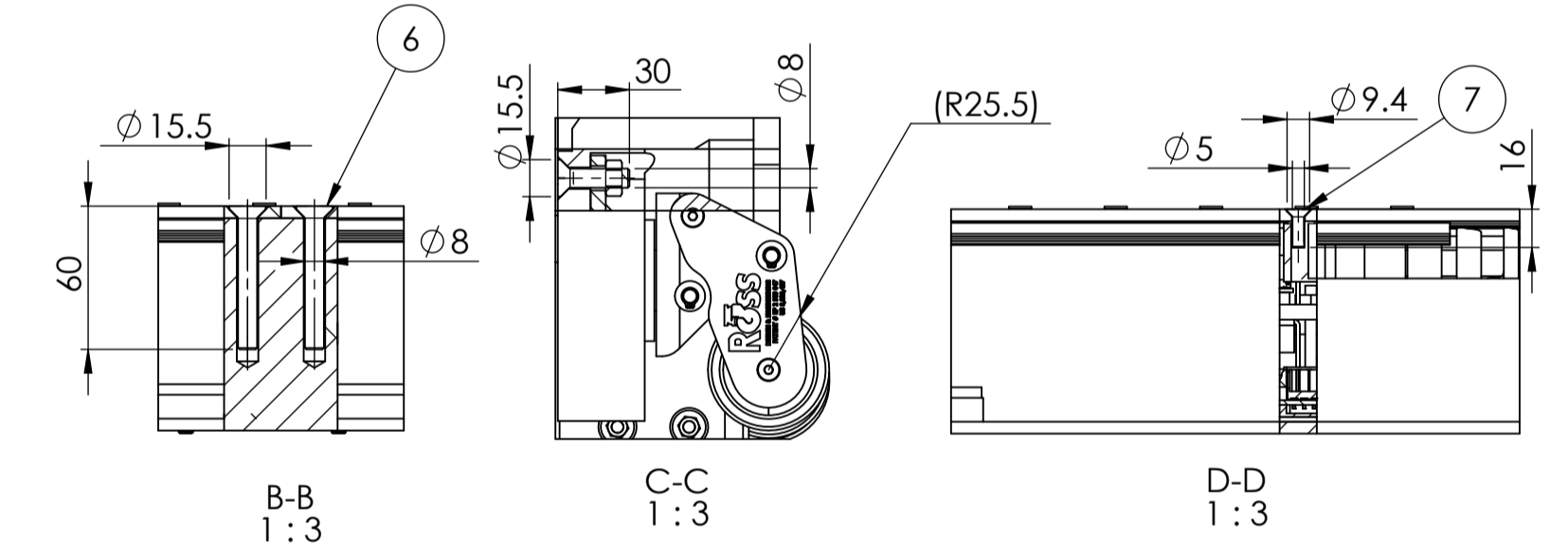
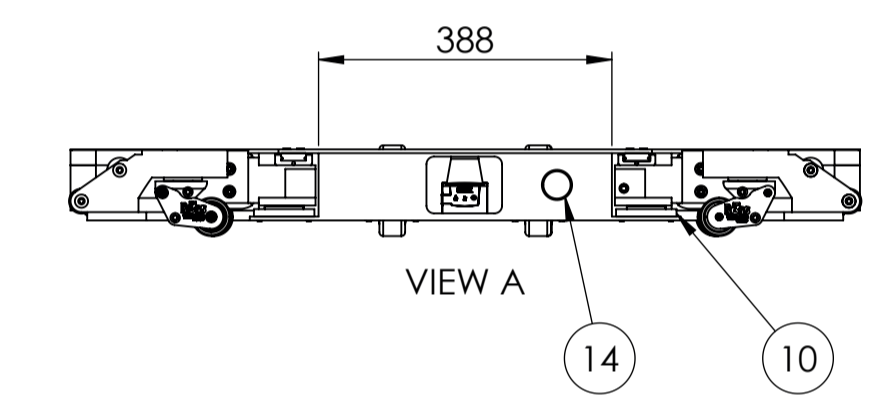
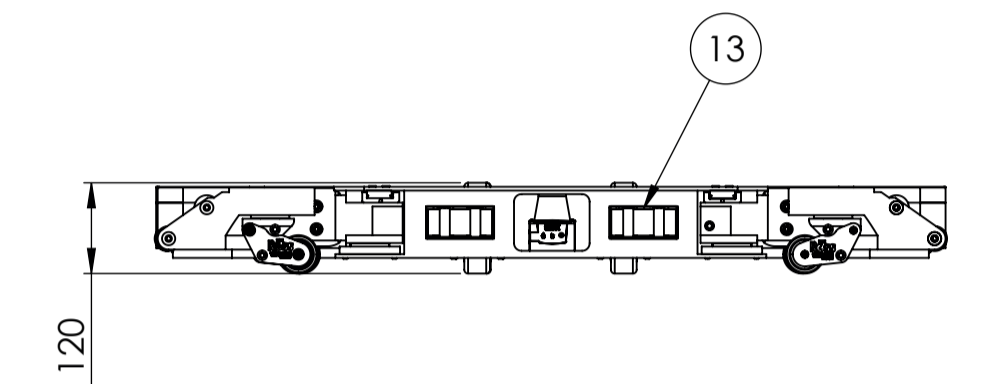
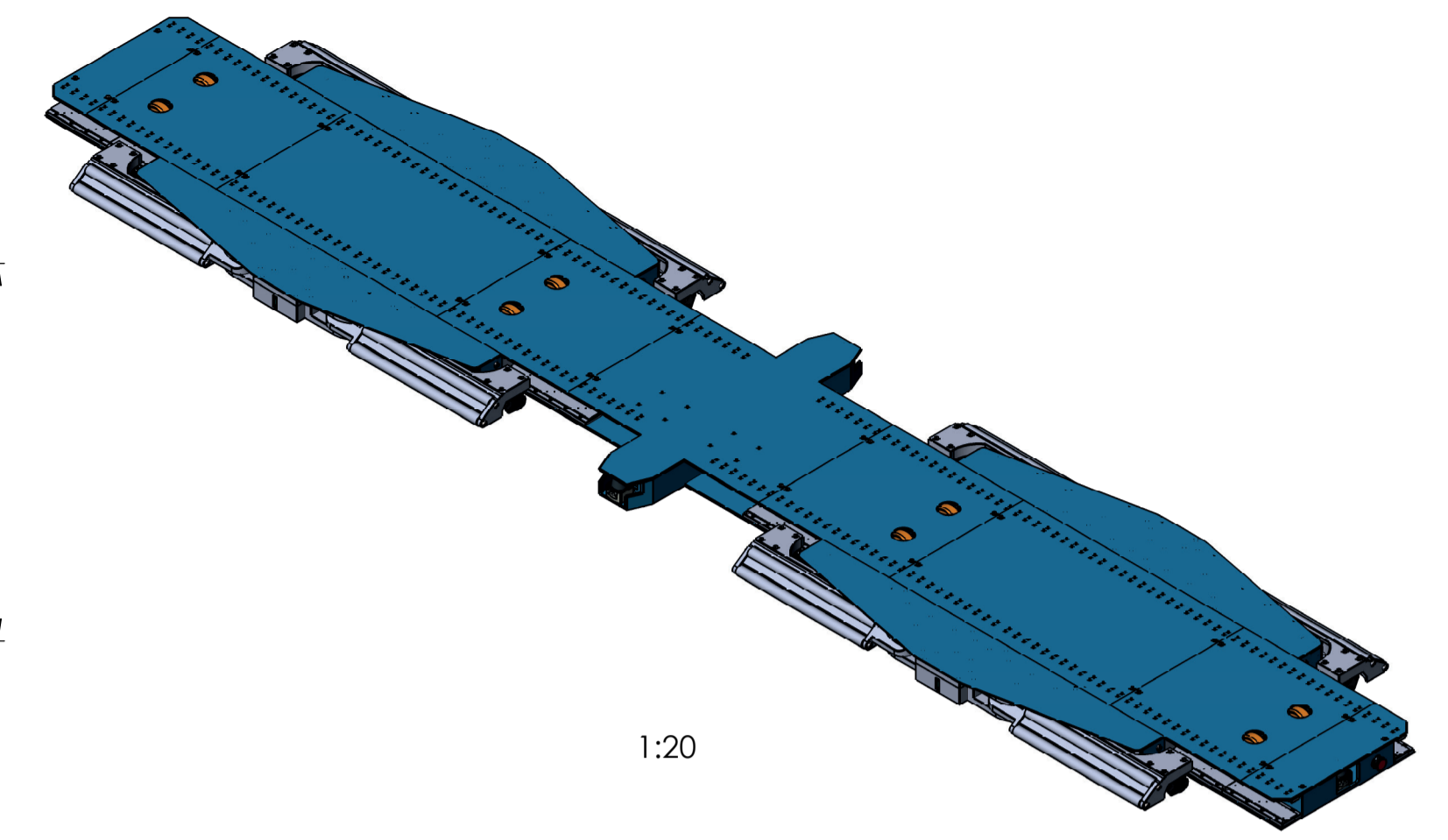
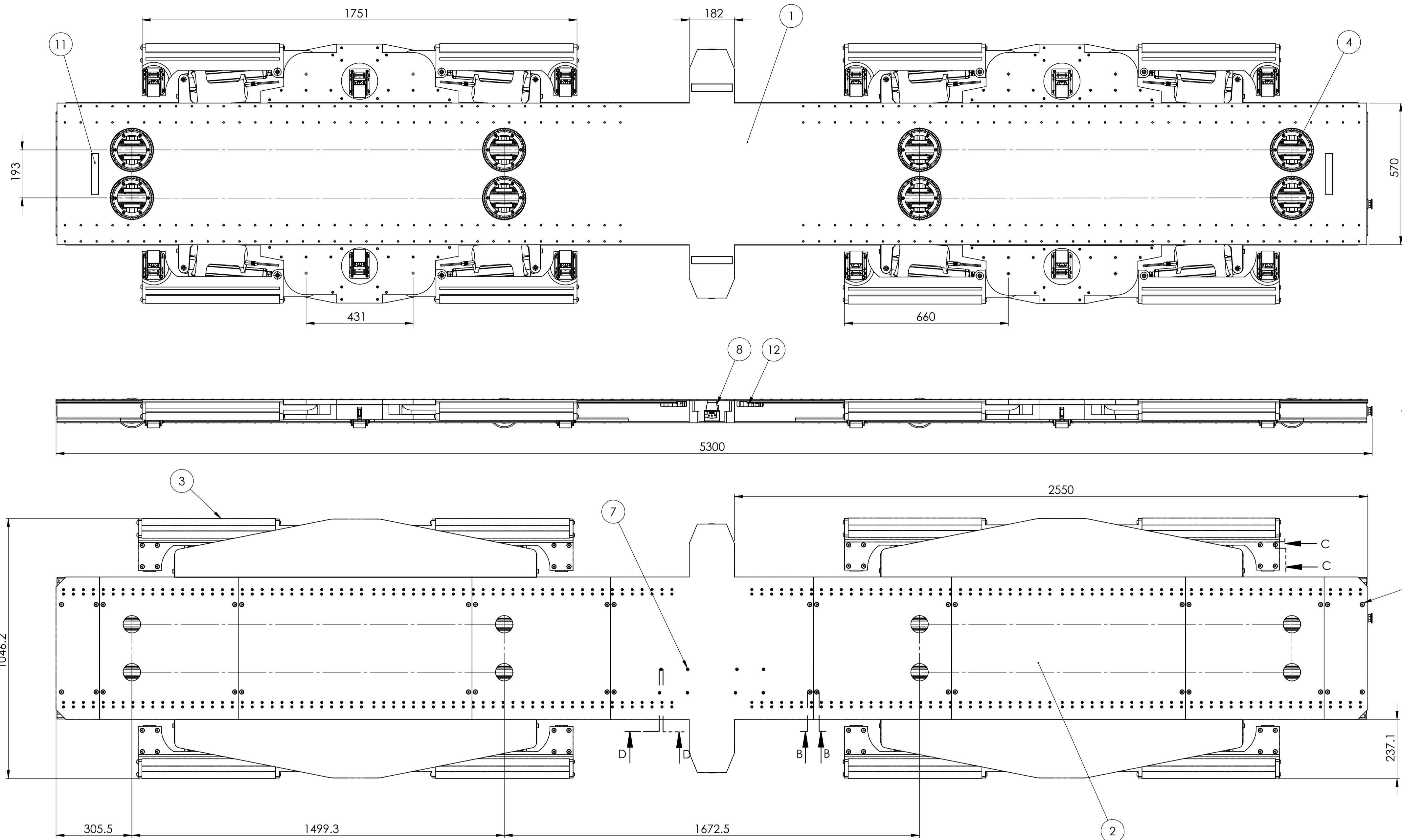
GRAAFILINE OSA

Ra 6,4 (▽)



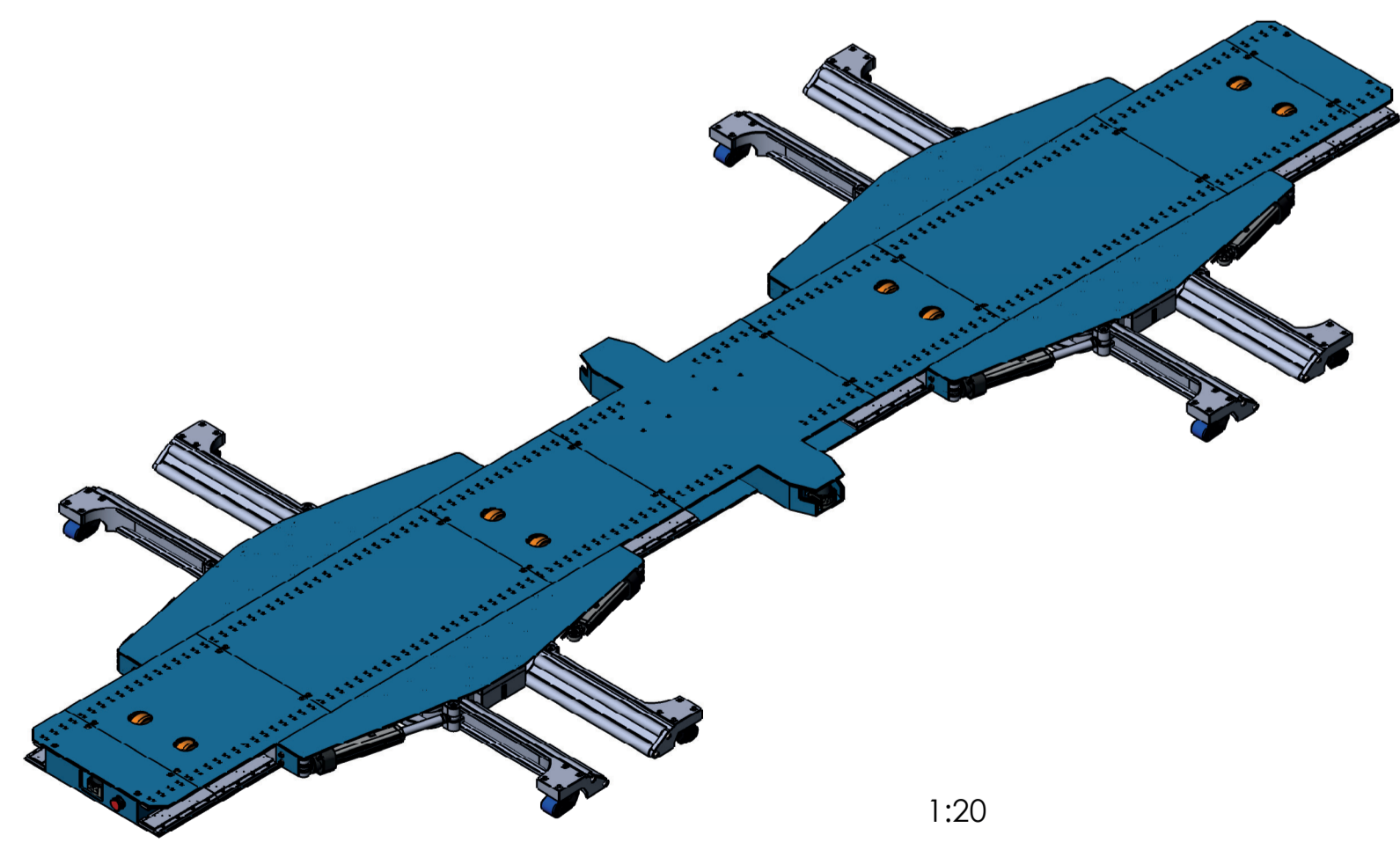
1. Mõõtmed millimeetrites
2. Lõplik geomeetria CNC tööluseks .stp failist

	Materjal:	Märkimata piirhääbeid:	Mass.	Mõõt.
	34CrMo4	ISO 2768-m; ISO 2768-k	18.54 kg	1:5
Teostas:	Karolin Kelpman	Nimetus: Parkimisroboti käpp		
Kontrollis:				
Kinnitas:				
TALTECH MATM-40		Leht:	Tähis:	
		1/1	20001.02.00.01A	

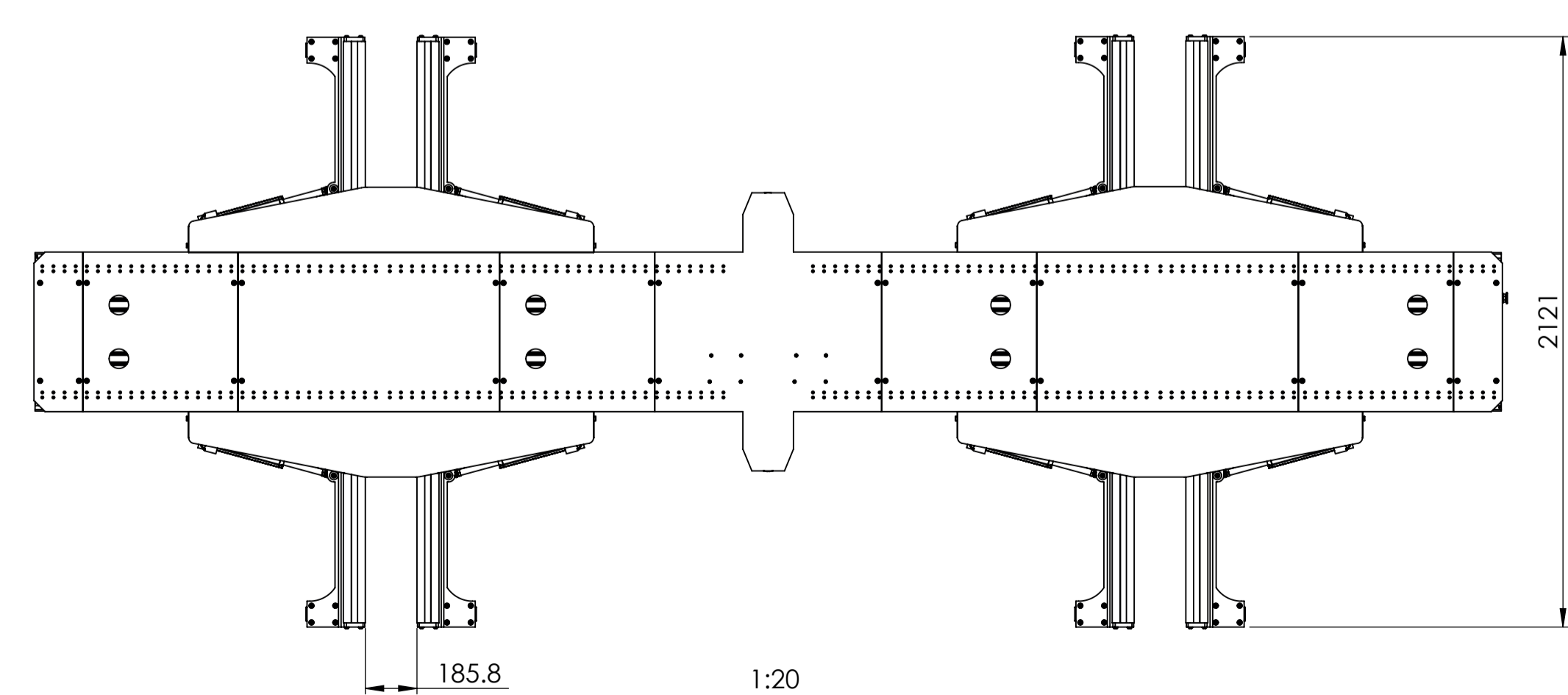


- Mõõtmed millimeetrites.
- Roboti sisu ei soovitata näidata. Pos 5 ja 9 ei ole joonisel kuvatud, sest need asuvad roboti sisemuses ning pole antud vaadetel nähtavad.
- () teatmemõõdud

Osa	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
14	Stoppnupp	Cutler Hammer E-Stop	1	Eaton
13	Laadimisüsteemi kollektor	RPCOL90	2	Roboteq
12	Ventilaatorid	RLF100-11/18/2HP-182	2	ebm-pabst
11	Magnetsensor	MG51600	4	Roboteq
10	DDL mootori magnetrada	MC050	4	Kollmorgen
9	Aku	US18650VTC6	2000	Sony
8	2D lidar	TIM781-2174101	4	SICK
7	Süvispea polt M5 x 16	ISO 10642 - M5 x 16	8	BalticBolt
6	Süvispea polt M8 x 60	ISO 10642 - M8 x 60	36	BalticBolt
5	Kontroller ja moodulid	20001.05.00.00A	1	
4	Vedava ratta mehhanism	20001.04.00.00A	8	
3	Käppademe mehhanism	20001.03.00.00A	4	
2	Roboti kaane koost	20001.02.00.00A	1	
1	Roboti kere	20001.01.00.00A	1	



Vaatel on robot näidatud avatud käppadega asendis.



Vaatel on robot näidatud avatud käppadega asendis.

Materjal:	Märkimata piirhääred:	Mass:	Mõõt:
-	ISO 2768-m; ISO 2768-k	-	1:10
Teostas:	Karolin Kelpman	Nimetus:	Autonoomse parkimisroboti kandekonstruktsioon
Kontrollis:		Leht:	1/1
Kinnitas:		Tähis:	20001.00.00.00A
TALTECH MATM-40			